

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

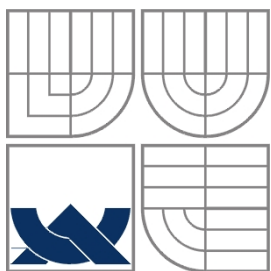
MIKROPROCESOREM ŘÍZENÝ MĚŘIČ VÝKONU DO KMITOČTU 10GHZ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

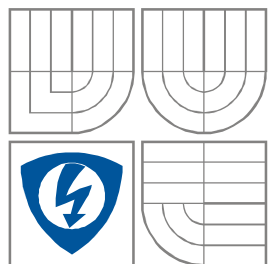
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN KLÍMA

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

MIKROPROCESOREM ŘÍZENÝ MĚŘIČ VÝKONU DO KMITOČTU 10GHz

THE MICROPROCESSOR CONTROLLED POWER MEASUREMENT SYSTEM FOR FREQUENCIES
BELOW 10GHz

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Martin Klíma

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Tomáš Urbanec, Ph.D.

BRNO, 2008

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Martin Klíma
Bytem: Bodláková 10, Brno, 628 00
Narozen/a (datum a místo): 21. června 1984 v Brně

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☐ diplomová práce
- ☒ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Mikroprocesorem řízený měřič výkonu do kmitočtu 10GHz

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Tomáš Urbanec, Ph.D.

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 6. června 2008

.....
Nabyvatel

.....
Autor

ABSTRAKT

Cílem této práce je navrhnout mikrokontrolérem řízený měřič výkonu založený na logaritmickém detektoru AD8317 firmy Analog Devices, vytvořit desku plošných spojů a ověřit základní funkčnost.

Logaritmický detektor AD8317 je vhodný pro měření výkonu vysokofrekvenčního signálu o úrovni asi -55 dBm až -3 dBm ve frekvenčním pásmu od 1 MHz do 10 GHz. Jeho výstup poskytuje stejnosměrné napětí úměrné úrovni vstupního vysokofrekvenčního signálu. Toto je vhodné k A/D převodu a číslicovému zpracování mikrokontrolérem.

Výsledkem práce je kompletní měřicí přístroj.

Klíčová slova

Mikroprocesor, mikrokontrolér, AVR, měřič výkonu, logaritmický detektor, A/D převod, zobrazení dat, LCD displej, sériová komunikace, USB.

ABSTRACT

The aim of this work is to design a microprocessor controlled power measurement system which is based on the logarithmic detector AD8317, then to create a printed circuit board and to test its functioning.

The logarithmic detector AD8317 is acceptable for measurement of high frequency signal's power of the level between approx. -55 dBm and -3 dBm in the frequency bandwidth of 1 MHz to 10 GHz. Its output provides DC voltage which is corresponding to the decibel-scaled level of the input signal. This is suitable for A/D conversion and digital processing by the microprocessor.

The result of the work is a complete measurement system.

Keywords

Microprocessor, microcontroller, AVR, power measurement system, logarithmic detector, A/D conversion, display data, LCD display, serial communication, USB.

KLÍMA, M. *Mikroprocesorem řízený měřič výkonu do kmitočtu 10GHz*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 33 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Urbanec, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Mikroprocesorem řízený měřič výkonu do kmitočtu 10 GHz jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 6. června 2008

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Urbancovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 6. června 2008

.....
podpis autora

Obsah

1. Úvod	1
1.1 Měření vysokofrekvenčního výkonu	1
1.2 Elektronické měření vysokofrekvenčního výkonu	1
2 Logaritmičké detektory	2
3 Základní parametry detektoru AD8317	2
3.1 Struktura a provedení AD8317	2
3.2 Vývody detektoru	3
3.3 Specifikace podle výrobce	3
3.4 Teplotní kompenzace	4
3.5 Převodní charakteristiky	4
4 Obvodové zapojení měřiče výkonu	5
4.1 Popis zapojení	5
4.2 Připojení detektoru na mikrokontrolér	6
5 Použité obvody a součástky	7
5.1 Mikrokontrolér	7
5.2 Operační zesilovač AD8551	9
5.3 Převodník napěťových úrovní MAX232	9
5.4 Převodník RS232/USB FT232R	11
5.5 Inteligentní displej SC1602A	11
5.6 Indikátor FM152	13
6 Schéma zapojení	15
7 Deska plošných spojů a osazovací plán	16
8 Schéma zapojení a obrazec desky tlačítek	18
8 Ovládání přístroje	19
8.1 Popis displeje	19
8.1 Popis ovládání	19
9 Komunikace s osobním počítačem PC	20
9.1 Popis dálkového ovládání	21
9.2 Popis kalibrace přístroje	21
10 Softwarové vybavení mikrokontroléru	21
10.1 Nastavení periferií mikrokontroléru	21
10.2 Popis programu mikrokontroléru	22
11 Mechanická konstrukce	26
12 Celkové provedení měřiče	29
13 Seznam součástek a materiálu	30
Deska měřiče	30
Deska tlačítek	31
Ostatní materiál	31
Závěr	32
Literatura	33

Seznam obrázků

Obr. 1 Vnitřní zapojení AD8317	3
Obr. 2 Teplotní závislost parametrů	4
Obr. 3 Návrh koplanárního vedení na desce plošných spojů	5
Obr. 4 Blokové schéma mikrokontrolérem řízeného měřiče výkonu do kmitočtu 10GHz.....	6
Obr. 5 Blokové schéma mikrokontroléru Atmel ATmega16	8
Obr. 6 Zapojení vývodů AD8551	9
Obr. 7 Doporučené zapojení obvodu MAX232	10
Obr. 8 Zapojení vývodů obvodu MAX232	10
Obr. 9 Základní zapojení obvodu FT232R k USB	11
Obr. 10 Blokové schéma displeje SC1602A	12
Obr. 11 Pohled na indikátor FM152B	13
Obr. 12 Rozměrový náčrt indikátoru FM 152B.....	13
Obr.13 Převodní charakteristika indikátoru FM152B.....	14
Obr. 14 Chyba indikátoru FM152B při proložení funkcemi.....	14
Obr. 13 Schéma zapojení desky měřiče	15
Obr. 14 Deska plošných spojů, horní strana.....	16
Obr. 15 Osazovací plán, horní strana	16
Obr. 16 Deska plošných spojů, spodní strana	17
Obr. 17 Osazovací plán, spodní strana	17
Obr. 18 Schéma zapojení desky tlačítek	18
Obr. 19 Obrazec desky, strana spojů.....	18
Obr. 20 Osazovací plán, strana součástek	18
Obr. 21 Osazovací plán, strana spojů	18
Obr. 22 Výchozí stav po zapnutí, zobrazení v dBm.....	19
Obr. 23 Alternativní zobrazení ve W	19
Obr. 24 Volba frekvence FREQ	19
Obr. 25 Nastavení offsetu OFFSET	19
Obr. 26 Nastavení offsetu analogového indikátoru	20
Obr. 27 Nastavení rozsahu analogového indikátoru	20
Obr. 28 Příklad komunikace pomocí terminálu	20
Obr. 29 Vývojový diagram programu mikrokontroléru	22
Obr. 30 Vývojový diagram funkce Set_Freq	23
Obr. 31 Vývojový diagram obsluhy přerušení od tlačítek	25
Obr. 32 Náčrt čelního panelu krabičky KP11	26
Obr. 33 Náčrt zadního panelu krabičky KP11	27
Obr.34 Náčrt spodního dílu krabičky KP11	28
Obr. 35 Pohled zepředu na měřič	29
Obr. 36 Pohled zezadu na měřič.....	29

Seznam tabulek

Tab. 1 Typické parametry AD8317.....	3
Tab. 2 Doporučené hodnoty R_{TADJ} pro dané kmitočty	4
Tab. 3 Zapojení vývodů displeje SC1602A	12

1. Úvod

1.1 Měření vysokofrekvenčního výkonu

Měření VF výkonu je doplněním ostatních měření na VF zařízeních. Metody měření výkonu jsou rozděleny podle použitých zapojení na přímé nebo nepřímé, kterých je mnoho a jsou založeny na různých principech.

Přímé měření výkonu lze provádět například wattmetry, které mají velmi dobré metrologické vlastnosti, měří přímo činný výkon, a jsou vhodné pro měření od 0 do asi 1 kHz, nedá se tedy mluvit o VF měření. Jejich další nevýhodou je přecitlivělost na přetížení, základní spotřeba, jejich rozměry, dostupnost a cena.

Nepřímé metody měření spočívají většinou v měření efektivní hodnoty napětí nebo proudu na normované zátěži dané použitým impedančním systémem v konkrétním použití. Zřejmě nejvýhodnější a nejpoužívanější je impedanční systém 50 Ohmů, pro který také bude navržen níže popsán měřič výkonu. Princip nepřímého měření spočívá v přepočtu veličiny svázané fyzikálním nebo matematickým vztahem s veličinou požadovanou. Při měření výkonu je nejčastější měření efektivní hodnoty napětí na zátěži odpovídající použitému impedančnímu systému. Potom se výkon vypočte na základě Ohmova zákona.

Převod lze realizovat různými způsoby; v analogové formě je nejjednodušší a nejspolehlivější kvadratická stupnice měřidla, která má ovšem zásadní nevýhodu pro uživatele pro kterého je výhodná stupnice lineární z hlediska čtení. Jako voltmetr může být použito magnetoelektrické měřidlo s měřicím usměrňovačem, které má ale omezený kmitočtový rozsah řádově do 10 kHz a malou citlivost, má také nelineární stupnici. Další variantou je použití magnetoelektrického měřidla ve spojení s termočlánkem. Tyto mají kvadratickou stupnici, lze je použít jako voltmetry přibližně do kmitočtu 10 kHz, jako ampérmetry pak do asi 1 MHz. Měří efektivní hodnoty, tzn. jsou do jisté míry nezávislé na tvaru a kmitočtu signálu. Termočlánky mají malou přetížitelnost, jsou drahé a špatně dostupné.

1.2 Elektronické měření vysokofrekvenčního výkonu

Jiná možnost je použít elektronický detektor, který danou závislost linearizuje. Tento lze použít sestavený z diskretních prvků, nebo v integrované formě, kdy je příslušný integrovaný odvod přímo konstruován a určen pro měření výkonu. Pro VF použití je zřejmě nejvýhodnější. Principiálně lze také realizovat detektor číslicový, avšak pouze pro nižší kmitočty. Současná technika neumožňuje použít přímé číslicové zpracování signálů v kmitočtové oblasti GHz – 10 GHz.

Je možné a výhodné vhodně kombinovat analogové a číslicové postupy, kdy se použije analogový systém na straně VF výkonu, který vhodně převede vstupní signál měřiče na SS napětí úměrné měřenému výkonu včetně zesílení jak na VF straně, tak i na straně stejnosměrné. Pak je výhodné použít návazný číslicový systém umožňující téměř libovolné operace s číslicovou informací včetně matematických operací nebo sdílení naměřených či vypočtených hodnot v informačních systémech. To je zvláště výhodné pro spolupráci více přístrojů na složitějších měřicích pracovištích, kdy se šetří čas a energie pracovníků, protože maximum úloh lze automatizovat.

2 Logaritmické detektory

V zařízeních pracujících s vysokofrekvenčními signály, jako jsou výrobky spotřební elektroniky, součásti průmyslových celků nebo rovnou měřicí přístroje, je třeba měřit výkon těchto signálů. Příkladem použití může být měření výkonu vysílače nebo oscilátoru, případně přijímaného signálu z přenosové trasy. Pro konstrukci měřicích obvodů se používají integrované logaritmické detektory, které jsou vázané vhodným způsobem k obvodu generujícímu signál. Tyto součástky jsou moderní, mají dobré elektrické vlastnosti, nízkou spotřebu, malé rozměry a hmotnost.

Mezi základní parametry logaritmických detektorů používaných pro měření VF výkonu patří zejména kmitočtový a dynamický rozsah, citlivost, dále pak přesnost a stabilita parametrů v celém kmitočtovém i dynamickém rozsahu. Zajímavým parametrem je také odolnost proti přetížení. Z hlediska konstrukce zařízení jsou důležité parametry napájení obvodu, tzn. rozsah napájecích napětí a odběr proudu. Z hlediska montáže je do jisté míry vybírat z různých pouzder obvodů. Pro mikrovlnné aplikace je tento výběr zúžen kvůli rozměrové náročnosti vzhledem k vlnové délce zpracovávaných signálů.

3 Základní parametry detektoru AD8317

Logaritmický detektor AD8317 je určen pro dvě základní využití [1]. Samotný jej lze použít pro měření vysokofrekvenčního výkonu. Ve spojení s dalším obvodem, například zesilovačem s řiditelným ziskem, je použitelný ke stabilizaci úrovně signálu ve zpětnovazební smyčce. Pro použití v kmitočtovém pásmu do 10 GHz vyhovuje výrobek firmy Analog Devices AD8317. Jedná se o logaritmický detektor schopný pracovat v kmitočtovém pásmu 1 MHz až 10 GHz, což vyhovuje požadavku zadání a s dynamikou až 50 dB v pásmu do 8 GHz. Je vhodný pro impedanční systém 50 Ohmů.

3.1 Struktura a provedení AD8317

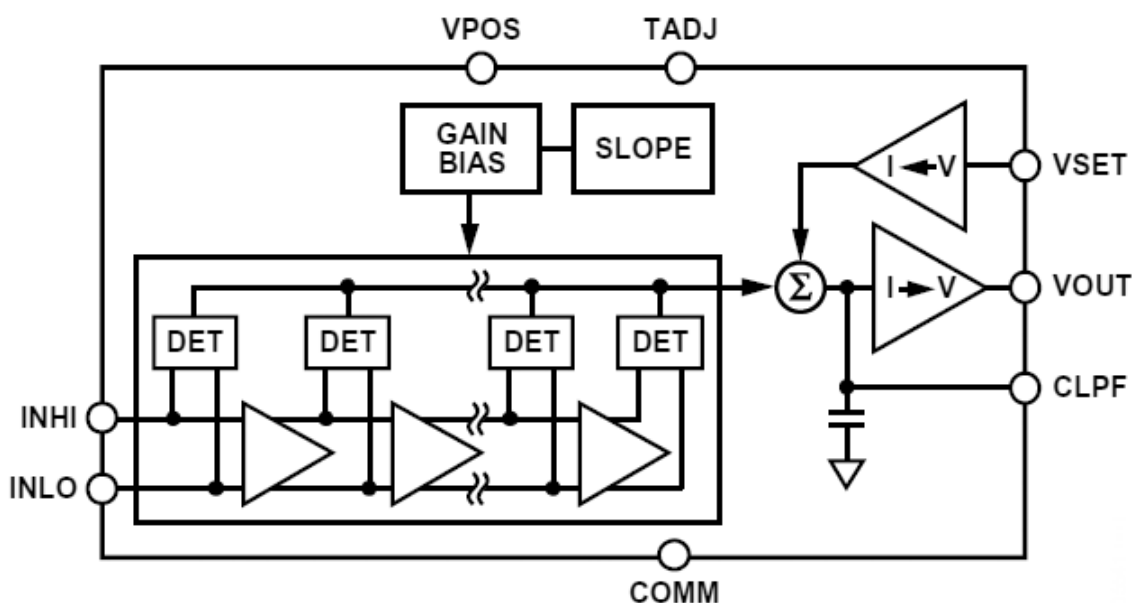
Tento detektor, viz. obr. 1 je vybaven symetrickým vstupem, který je jednoduše použit jako nesymetrický. Oba vstupy jsou kapacitně vázány, jeden k zemi, druhý k nesymetrickému vstupnímu signálu. Zesilovač s velkým konstantním ziskem je tvořený kaskádou stupňů v diferenciálním zapojení s detektorem pro každý stupeň [1], která aproximuje logaritmický průběh převodní charakteristiky. Díky konečnému počtu těchto stupňů má převodní charakteristika nepatrné zvlnění, které ale nijak podstatně neohrožuje přesnost. Následuje proudový součtový zesilovač se zpětnou vazbou s vřazenými převodníky proud/napětí a napětí/proud. Za něj je zařazená pasivní dolní propust definovatelná vnějším obvodem. Vnější obvod může představovat například kondenzátor či RC členek.

Zpětnovazební smyčka výstupního obvodu se uzavírá vnější sítí, která definuje její vlastnosti a tím převodní charakteristiku celého detektoru. V měřicím módu je zpětná vazba uzavřena buď nakrátko s převodní konstantou -22 mV/dB nebo děličem napětí umožňujícím zvětšit převodní konstantu. Výstup je nesymetrický. Napájecí nároky jsou přiměřené, napájecí napětí v rozsahu 3-5,5 V, proud typicky 22 mA. Toto je výhodné z hlediska návaznosti na číslicový systém reprezentovaný mikrokontrolérem, nejlépe z řady Atmel AVR, s podobnými nároky. Celý systém pak může být napájen z vhodného zdroje jednoho napájecího napětí.

3.2 Vývody detektoru

Uveden je název dle dokumentace výrobce [1], v závorce číslo vývodu a popis funkce.

- IN_{HI} (1)** - střídavě vázaný VF vstup.
- COMM (2)** - společný bod, spojuje se se zemí.
- C_{LPF} (3)** - zde se připojuje kondenzátor zpětnovazební dolní propusti C_{LPF}.
- V_{SET} (4)** - zpětnovazební vstup.
- V_{OUT} (5)** - výstup detekovaného napětí V_{OUT}.
- T_{ADJ} (6)** - nastavení teplotní kompenzace připojením rezistoru R_{TADJ}.
- V_{POS} (7)** - vstup kladného napájecího napětí V_{POS} v rozsahu 3,0 - 5,5 V.
- IN_{LO} (8)** - střídavě vázaný VF vstup, diferenční ke vstupu IN_{HI}.



Obr. 1 Vnitřní zapojení AD8317

3.3 Specifikace podle výrobce

Výrobce udává množství parametrů, v tab. 1 uvedené jsou nejdůležitější pro toto zapojení. Zmíněné parametry jsou měřeny za těchto podmínek: chyba max. ± 1 dB, teplota okolí $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{\text{POS}} = 3$ V, $C_{\text{LPF}} = 1$ nF, $R_T = 52.3$ Ω . Poznámka: $^1P_{\text{IN}} = -10$ dBm, $^2P_{\text{IN}} = -40$ dBm, $^3P_{\text{IN}} = -35$ dBm.

Tab. 1 Typické parametry AD8317

f [GHz]	0,9	1,9	2,2	3,6	5,8	8,0
R _{TADJ} [k Ω]	18	8	8	8	0,5	odpojen
Z _{vst} [Ω pF]	1500 0.33	950 0.38	810 0.39	300 0.33	110 0.05	28 0.79
± 1 dB Dynamický rozsah [dB]	50	50	50	42	50	44
Maximální vstupní úroveň [dBm]	-3	-4	-5	-6	-4	-2
Minimální vstupní úroveň [dBm]	-53	-54	-55	-48	-54	-46
Strmost [mV/dB]	-22	-22	-22	-22	-22	-22
Zahlcení [dBm]	15	14	14	11	16	21
Výstupní napětí: Vysoká úroveň [V] ¹	0,58	0,54	0,53	0,47	0,59	0,70
Výstupní napětí: Nízká úroveň [V] ²	1,27	1,21 ³	1,20	1,16	1,27	1,39

3.4 Teplotní kompenzace

V tab. 1 figuruje parametr - hodnota kompenzačního rezistoru R_{TADJ} , který je určen k teplotní kompenzaci detektoru. Pro stanovení hodnoty tohoto rezistoru neexistuje žádný vztah, výrobce udává pouze Tab. 2 doporučených hodnot pro každé kmitočtové pásmo.

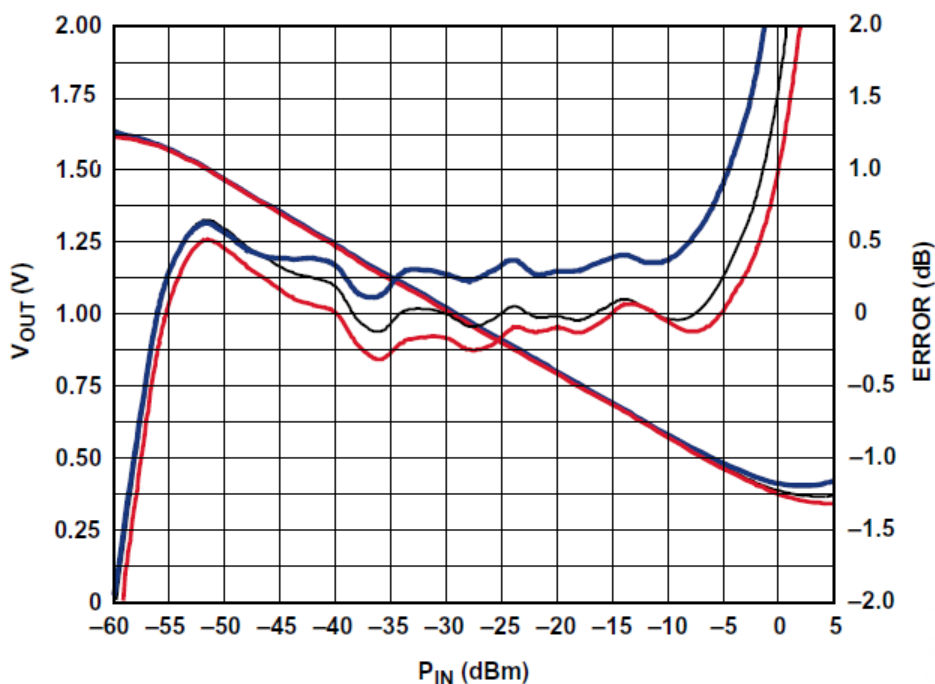
Tab. 2 Doporučené hodnoty R_{TADJ} pro dané kmitočty

f [GHz]	0,05	0,1	0,9	1,8	1,9	2,2	3,6	5,3	5,8	8,0
R_{TADJ} [k Ω]	18	18	18	8	8	8	8	0,5	0,5	odpojen

V této konstrukci je možno zvolit jednoduše jednu kompromisní hodnotu R_{TADJ} nebo použít jednoduché zapojení pro volbu některého z tabulkových odporů. Jsou zde použity spínací N-MOSFET tranzistory spínající příslušné rezistory na zem. Spínání tranzistorů je řešeno mikrokontrolérem, prostřednictvím jeho portu. Volba příslušné kompenzace bude možná buď z menu, kdy si uživatel vybral předpokládané pracovní kmitočtové pásmo nebo případně z jiného zdroje informace o kmitočtu měřeného signálu, což by eventuelně mohl být i pomocný čítač. U tohoto řešení se ale nedá předpokládat plná funkce čítače v kmitočtovém i dynamickém rozsahu detektoru, je tedy potřebné zachovat možnost manuální volby. Zároveň je možno volit i korekci naměřené hodnoty podle zjištěné korekční tabulky detektoru.

3.5 Převodní charakteristiky

Typická převodní charakteristika včetně chyby v teplotní závislosti je znázorněna na obr. 2, kde je vidět poměrně dobrá aproximace požadované logaritmické charakteristiky, křivka V_{OUT} je téměř lineární ve značném dynamickém rozsahu. Při změně teploty se tato posouvá, což dobře postihuje křivka chyby ERROR, na které je patrný zejména posun charakteristik ve svislém směru a mírné zakřivení. Chyba je vypočtena použitím přímky ideálního průběhu mezi $P_{IN} = -40$ dBm a $P_{IN} = -10$ dBm.



Obr. 2 Teplotní závislost parametrů

Teplotní závislost parametrů na obr. 2 je měřená při těchto podmínkách: $f = 5,8 \text{ GHz}$, $V_{\text{POS}} = 3 \text{ V}$, $T = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $-40 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $+85 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $C_{\text{LPF}} = 1 \text{ nF}$. Barvy křivek značí teploty: $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ černá, $-40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ modrá, $85 \text{ }^{\circ}\text{C}$ červená.

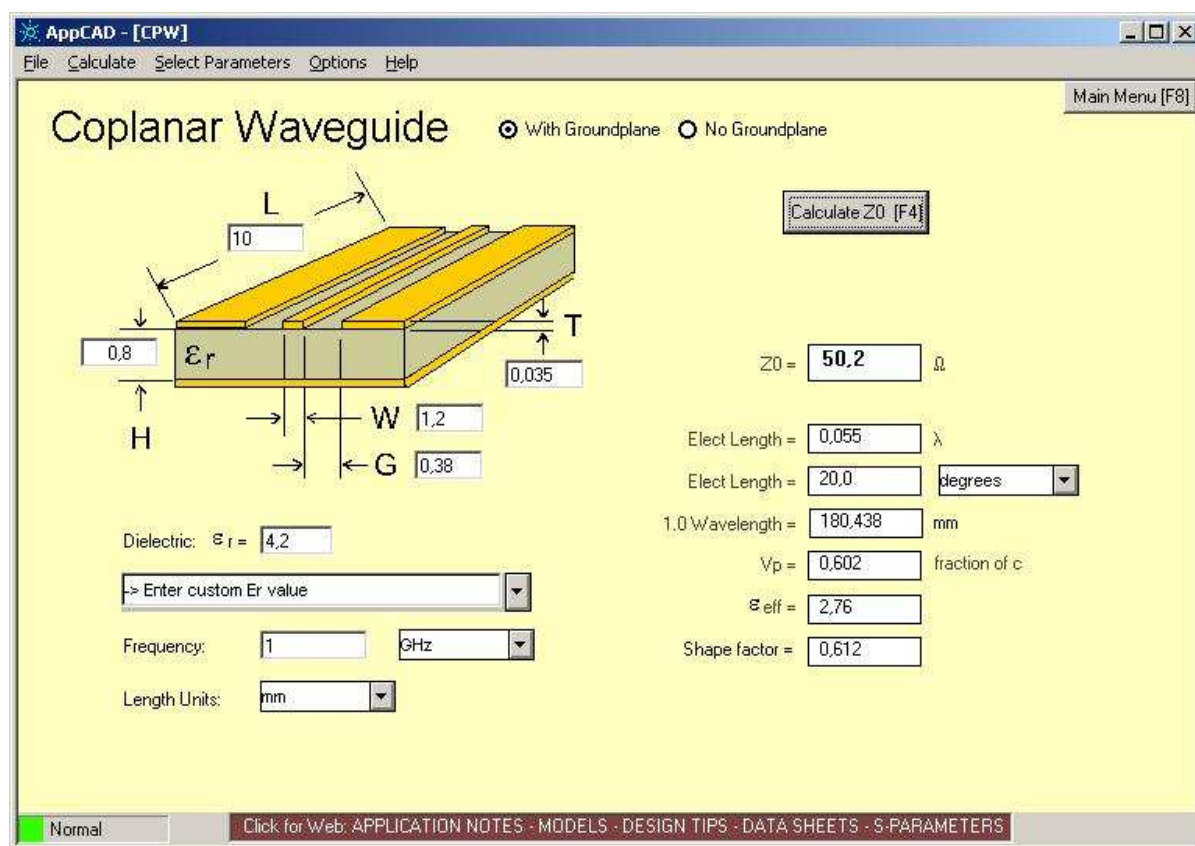
Z těchto a dalších převodních charakteristik viz. katalogový list [1] vyplývá maximální chyba v rozsahu dovolených pracovních teplot asi $\pm 1 \text{ dB}$ i s teplotní kompenzací. Pro každou, zejména pak referenční teplotu je však možné pro potřebné kmitočty změřit převodní charakteristiku použitého detektoru přesně porovnáním s referenčním přístrojem se známou přesností. To umožní sestavení kalibrační tabulky pro následnou číslicovou korekci změřených dat a podstatné zvýšení přesnosti měření.

4 Obvodové zapojení měřiče výkonu

Popsaný měřič výkonu je koncipován jako samostatný měřicí přístroj umožňující připojení k osobnímu počítači PC. Sestává z jediné skříňky obsahující všechny bloky přístroje včetně všech přípojných bodů - konektorů, ovládacích tlačítek či jiných prvků, inteligentního displeje a analogového měřidla. Lze jej realizovat na jediné desce plošných spojů.

4.1 Popis zapojení

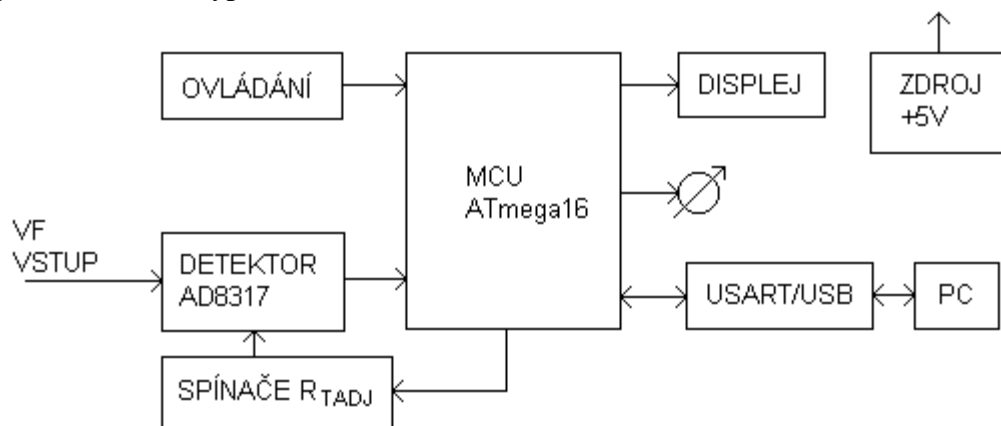
Na vstupu zapojení je provedeno krátké koplanární vedení se spodní zemní vrstvou. K návrhu tohoto vedení s jmenovitou impedancí 50 Ohmů jsem použil software AppCAD fy Agilent (obr. 3). Vycházel jsem z parametrů použitého plošného spoje a požadavku na šířku středního vodiče. Toto vedení je zakončeno rezistorem R_1 s hodnotou 51 Ohmů , dále je jen vazební kondenzátor C_1 a krátký spoj k detektoru AD8317 [9].



Obr. 3 Návrh koplanárního vedení na desce plošných spojů

Zapojení obsahuje na vysokofrekvenční straně logaritmický převodník AD8317 zajišťující detekci VF signálu. V použitém zapojení má strmost -22 mV/dB. Operační zesilovač AD8551 přizpůsobuje napěťový rozsah detektoru možnostem A/D převodníku použitého mikrokontroléru, který obstarává zpracování naměřených dat. Je realizován osvědčeným obvodem ATmega16 firmy ATMEL. Ten dále zpracovaná data zobrazuje pomocí inteligentního displeje SC1602A a analogového měřidla pomocí PWM. Umožňuje komunikaci s osobním počítačem prostřednictvím linky RS232 nebo rozhraní USB. Jsou zde použity obvody MAX232 jako převodníku TTL/RS232 a FT232 jako stykový obvod mezi UART a USB. Mikroprocesor zajišťuje ještě přepínání rezistorů teplotní kompenzace detektoru AD8317 a čtení ovládacích tlačítek.

Součástí zapojení je také napájecí zdroj jednotného napájecího napětí $5\text{ V} / 100\text{ mA}$, který napájí všechny součástky, tedy logaritmický detektor AD8317, mikrokontrolér ATmega16, případně převodník UART/RS232, převodník UART/USB a ostatní obvody. Zdroj je realizován jako jednoduchý klasický stabilizovaný zdroj se spojitou stabilizací monolitickým stabilizátorem řady 78X05 a externím síťovým adaptérem. Přístroj obsahuje napájecí konektor a vypínač.



Obr. 4 Blokové schéma mikrokontrolérem řízeného měřiče výkonu do kmitočtu 10GHz

4.2 Připojení detektoru na mikrokontrolér

Detektor AD8317 má analogový výstup, proto je třeba použít A/D převodník. Tento může být integrován do použitého mikrokontroléru. Z hlediska propojení těchto dvou součástí je třeba vyřešit přizpůsobení napěťových úrovní, aby byla plně využita rozlišitelnost A/D převodníku a zajistit vhodné poměry výstupního odporu detektoru a vstupního odporu A/D převodníku.

Z tab. 1 lze vyčíst, že pro základní nastavení výstupu detektoru je rozsah výstupních napětí přibližně $0,35 - 1,7\text{ V}$. Zapojení výstupního rozhraní detektoru umožňuje nastavit větší strmost detekce, čehož lze využít k nastavení potřebné dynamiky výstupního napětí v součinnosti s A/D převodníkem mikrokontroléru. Protože nastavením strmosti nelze jednoduše nastavit rozkmit výstupního napětí, byla zvolena varianta použití diferenčního zesilovače. Je tedy třeba použití A/D převodníku s diferenciálním vstupem, kdy na vztažnou svorku připojím vhodnou referenci tvořenou vhodným referenčním zdrojem například v integrované podobě s děličem napětí na potřebnou hodnotu.

Toto zapojení je ovšem omezené možnostmi A/D převodníku, který dovoluje v zapojení s diferenčními vstupy využít pouze 8 bitů, tedy přesnost asi $0,4\%$. Proto jsem zvolil variantu vloženého operačního zesilovače, který má podstatně lepší parametry než výstupní rozhraní detektoru a diferenční vstup A/D převodníku. Tímto opatřením se zlepší přesnost a stabilita

měřicího obvodu a je možné využít rozlišení A/D převodníku 10 bitů, což znamená přesnost asi 0,1 %. Výstupní rozhraní detektoru tedy zůstane zapojené na základní zisk a potřebný rozkmit se zajistí nastavením zisku operačního zesilovače. Zároveň se na vztažný vstup OZ přivede V_{OFFSET} , které se získá z děliče napětí.

Schéma zapojení měřiče vychází z popisu zapojení přístroje a obsahuje všechny komponenty umístěné na níže uvedené desce plošných spojů.

5 Použité obvody a součástky

Vzhledem k tomu, že logaritmický detektor a použitý operační zesilovač je funkční v rozsahu napájecích napětí 3-5,5 V a ostatní obvody vyžadují napájecí napětí 5 V, bylo toto napětí zvoleno jako jediné napájecí napětí jednotné pro celý přístroj. Vyhovuje všem použitým komponentům.

5.1 Mikrokontrolér

Jako řídicí mikrokontrolér jsem vybral typ ATmega16 zejména kvůli jeho dobrým parametrům, obsahu potřebných periférií a dostupnosti. Tento typ má podle předpokladů dostatečnou paměťovou kapacitu a velký výpočetní výkon.

Základní požadavky na použitý mikrokontrolér jsou především na periférie, které budou v přístroji využity. Pro vlastní měření je to zejména A/D převodník s diferenciálním vstupem, pro možnou funkci čítače by byl vhodný 16 bitový čítač, dále pro zobrazování na inteligentním displeji je třeba sběrnice 4 + 3 bitů a PWM výstup pro analogovou indikaci. Dále je potřeba sériová linka pro komunikaci s počítačem a několik pinů pro komunikaci s uživatelem pomocí tlačítek funkční volby či přepínače a konečně 3 piny pro volbu kompenzačního rezistoru. Celkem je to asi 20 v/v pinů.

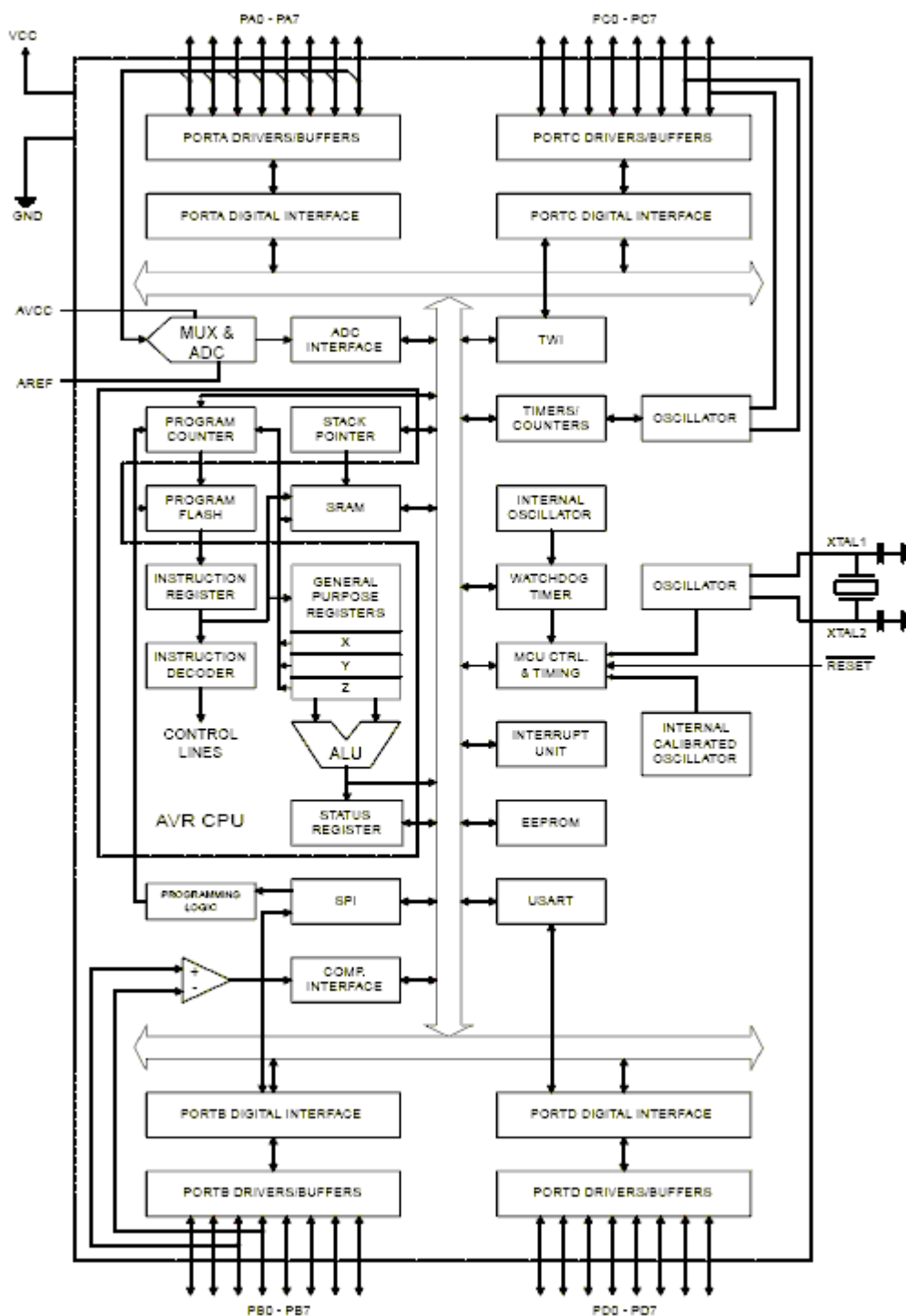
Požadavku na potřebné periférie vyhoví mikrokontrolér ATMEL ATmega16 z rodiny AVR, která má všechny potřebné periférie [2] i s ohledem na možné budoucí rozšíření přístroje o čítač umožňující nejen přímé měření kmitočtu měřeného signálu, ale především korekci naměřených hodnot vstupního výkonu podle kalibrační tabulky. Tuto je možné zjistit pro každý postavený vzorek kontrolním měřením. Pro všechny operace spojené s měřením a případnými výpočty má tento mikrokontrolér bohaté rezervy jak paměťové, tak výpočetního výkonu.

5.1.2 Základní parametry ATmega16

Mikrokontrolér ATmega16 je založen na výkonném univerzálním jádru AVR a obsahuje všechny periférie potřebné ke splnění zadaného úkolu, jak je patrné z obrázku 3 je doplněn několika provozními režimy se sníženou spotřebou a sníženým rušením, toho se využívá i pro odstranění šumu při A/D převodu. Spotřeba je nejvýše 15 mA při $V_{\text{CC}} = 5 \text{ V}$ a $f = 8 \text{ MHz}$.

5.1.3 Paměť a výpočetní možnosti

ATmega16 obsahuje 16 kB ISP FLASH, 512 B EEPROM, 1 kB SRAM, které umožňují značnou variabilitu systému a možnost uložení různých dat bez nutnosti připojovat jakoukoliv externí paměť. AVR jádro poskytuje značný výpočetní výkon, až 16 MIPS při 16 MHz [2].



Obr. 5 Blokové schéma mikrokontroléru Atmel ATmega16

5.1.4 Periferie

Dostupný 10 bitový A/D převodník s diferenciálními vstupy s možností externí reference je typu s postupnou aproximací, je tedy relativně přesný. Rychlost zde prakticky nerozhoduje, stačí převod s frekvencí do několika desítek Hz. Rozlišení A/D převodníku je 1024 úrovní, tedy maximální chyba A/D převodu je menší než 0,1 %. Z tohoto pohledu A/D převod nezhorší nijak citelně přesnost měření, vzhledem k předpokládané chybě logaritmického detektoru v řádu jednotek dB, tedy asi 10 %. Počítá se ovšem s korekcí naměřených hodnot pomocí kalibrační tabulky mikrokontrolérem, pak bude přesnost měření

znatelně lepší. Na přesnosti měření se bude dále podílet zejména nestabilita detektoru a teplotní drift. Ten má být minimalizován pomocí kmitočtově závislé teplotní kompenzace, kterou detektor umožňuje.

Mikrokontrolér obsahuje několik osmibitových paralelních portů s možností definice funkce bit po bitu, dále jsou k dispozici dva 8 bitové čítače/časovače s PWM funkcí a jeden 16 bitový. PWM výstup je uvažován k napájení analogového měřidla pro analogovou indikaci měřené úrovně. Rozlišení 8 bitového převodníku je asi 0,4 % a koresponduje s přesností dostupných analogových měřidel, která jsou v panelovém provedení ve třídě přesnosti nejlépe 1,5. Zde jde však spíše jen o indikaci než měření. Plně tedy postačuje 8 bitový čítač/časovač. Další, 16 bitový čítač/časovač bude použit pro vzorkování měřené hodnoty, tedy bude určovat periodu měření.

Pro komunikaci s osobním počítačem je zde sériové rozhraní UART, na které lze v případě potřeby navázat speciální obvod rozhraní USB. K převodu napětíových úrovní pro sériovou linku RS 232 bude použit níže popsáný obvod MAX232. K připojení k rozhraní USB bude použit převodník FT232RL fy. FTDI, který se již mnohokrát osvědčil.

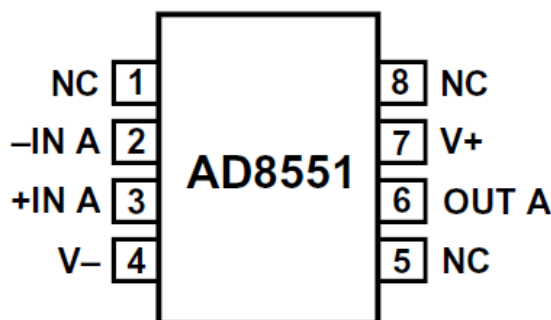
5.2 Operační zesilovač AD8551

Z důvodu potřeby nastavení napětíového rozkmitu výstupního napětí detektoru od 0 V do referenčního napětí A/D převodníku jsem použil operační zesilovač který umožní zcela využít dynamiku A/D převodníku a plně rozlišení 10 bitů. Popsaný operační zesilovač spolehlivě splňuje požadavky na ofset a drift, má výborné parametry.

5.2.1 Základní parametry

- Napájecí napětí: 2,7 – 5 V
- Spotřeba typicky 1 mA
- Nízký ofset 1 uV
- Nízký drift 5 nV/°C
- Rail – to – rail vstup i výstup
- Vysoký zisk, potlačení souhlasného signálu,

5.2.2 Zapojení vývodů



Obr. 6 Zapojení vývodů AD8551

5.3 Převodník napětíových úrovní MAX232

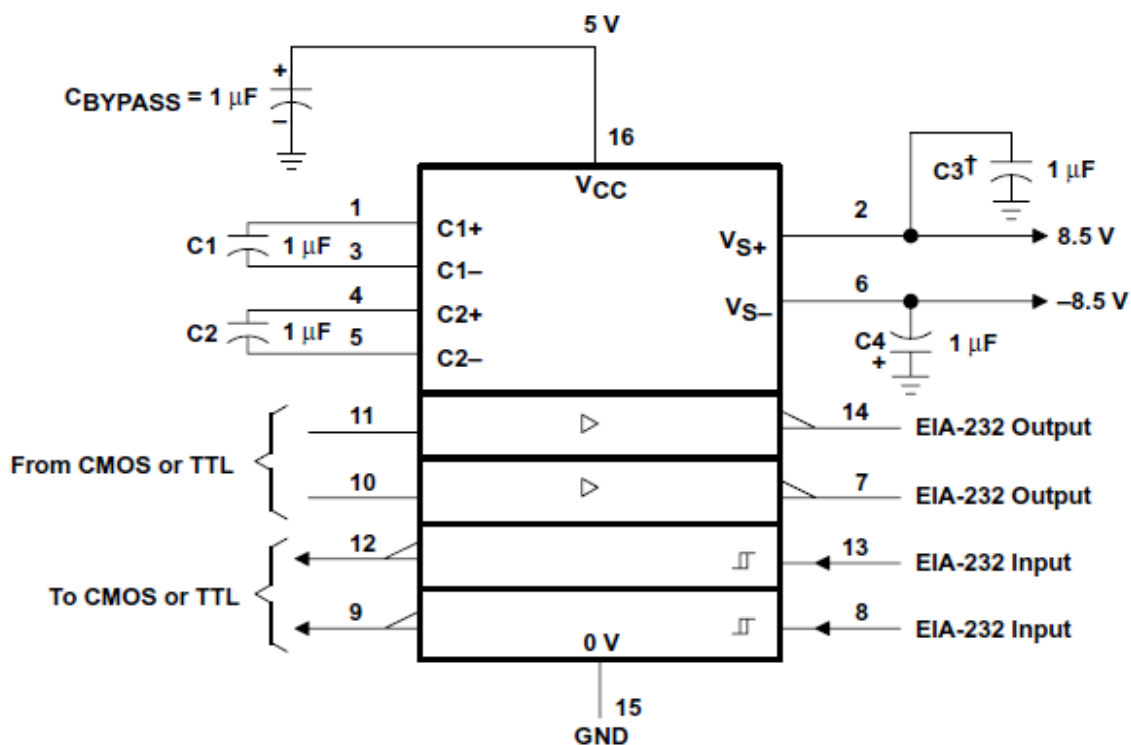
Vzhledem k tomu, že jednotlivé obvody zapojení spolu komunikují v úrovních TTL, je třeba tyto úrovně převést na úrovně vhodné pro sériovou komunikaci podle normy RS232. K tomu slouží integrovaný obvod MAX232.

5.3.1 Základní parametry

- Napájecí napětí: 5 V
- Spotřeba typicky : 8 mA
- Převádí dvě linky oběma směry
- Rychlost: typ 120 kb/s
- Pouzdro: SOIC

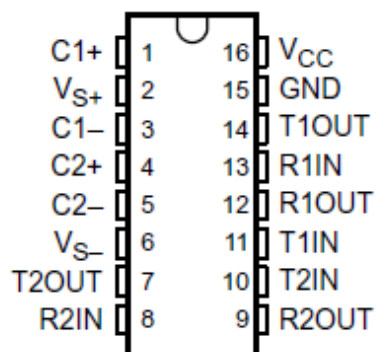
5.3.2 Doporučené zapojení

Doporučené zapojení obvodu MAX232 podle výrobce Texas Instruments [3].



Obr. 7 Doporučené zapojení obvodu MAX232

5.3.3 Zapojení vývodů



Obr. 8 Zapojení vývodů obvodu MAX232

5.4 Převodník RS232/USB FT232R

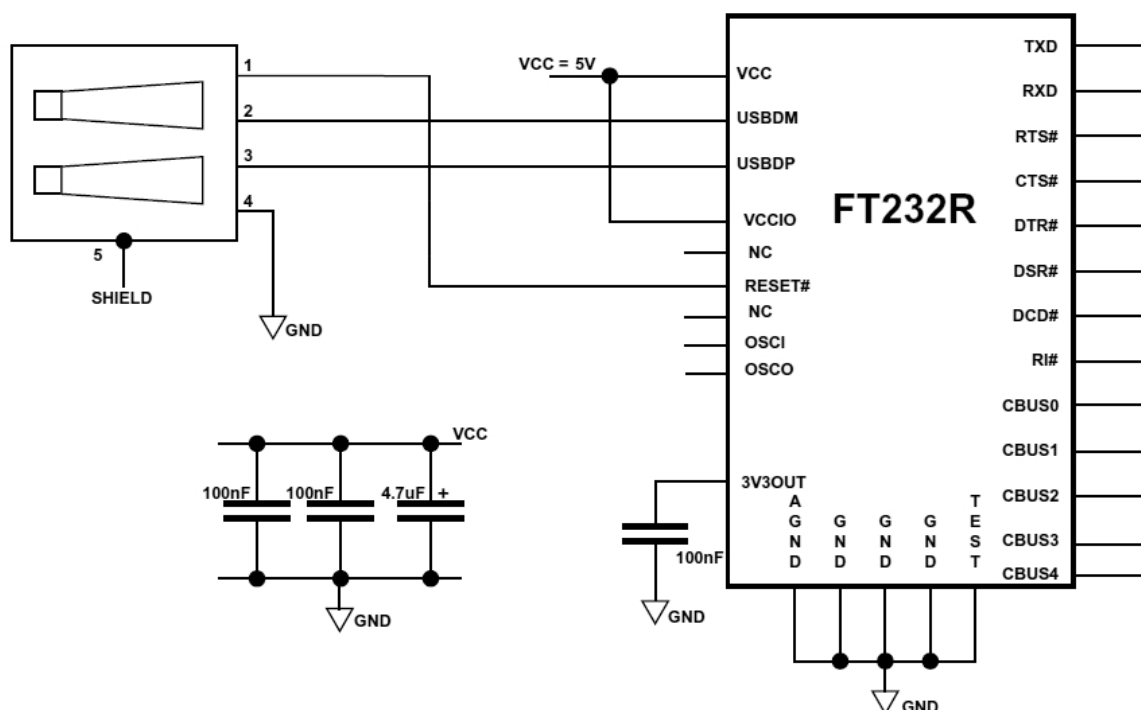
Obvod FT232R slouží k emulaci sériového portu dle standardu RS232 na rozhraní USB. V aplikaci je použit z důvodu kompatibility zařízení s počítači vybavenými jen USB.

5.4.1 Základní parametry

- Napájecí napětí: 3,3 – 5,25 V
- Spotřeba typicky : 15 mA
- Rychlost: 300 b/s – 1 Mb/s
- Pouzdro: SSOP

5.4.2 Doporučené zapojení

Doporučené připojení obvodu FT232R podle výrobce FTDI [4] k USB je na obrázku 9. Připojení k mikrokontroléru je provedeno pomocí linek TXD a RXD.



Obr. 9 Základní zapojení obvodu FT232R k USB

5.5 Inteligentní displej SC1602A

K zobrazování naměřených hodnot a doplňkových informací k uživateli je použit dvouřádkový alfanumerický displej s řadičem kompatibilním se standardem HD44780.

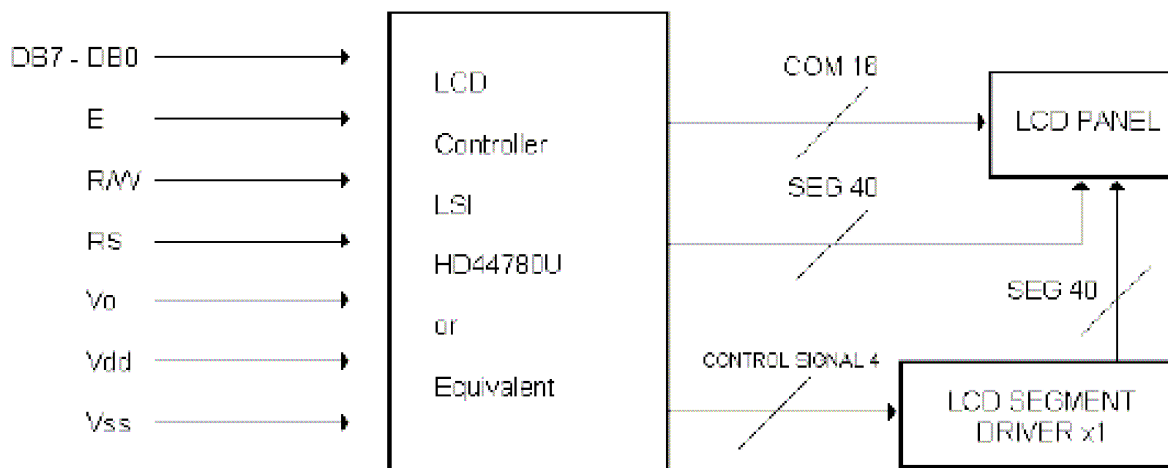
5.5.1 Základní parametry

- Napájecí napětí: 5 V
- Spotřeba maximálně : 3 mA
- Standardní řadič HD44780
- Vstupní data 4 bitová nebo 8 bitová
- Počet znaků 2x16

- Velikost znaku 5x7 bodů
- Zobrazovací plocha 65x16 mm

5.5.2 Blokové schéma zapojení

Modul displeje obsahuje řadič kompatibilní se standardem HD44780, budič LCD displeje a samotný LCD displej uchycený v držáku na desce plošného spoje modulu. Variantně se dodává s nebo bez LED podsvětlení, které má nezávisle vyvedené napájení.



Obr. 10 Blokové schéma displeje SC1602A

5.5.3 Zapojení vývodů

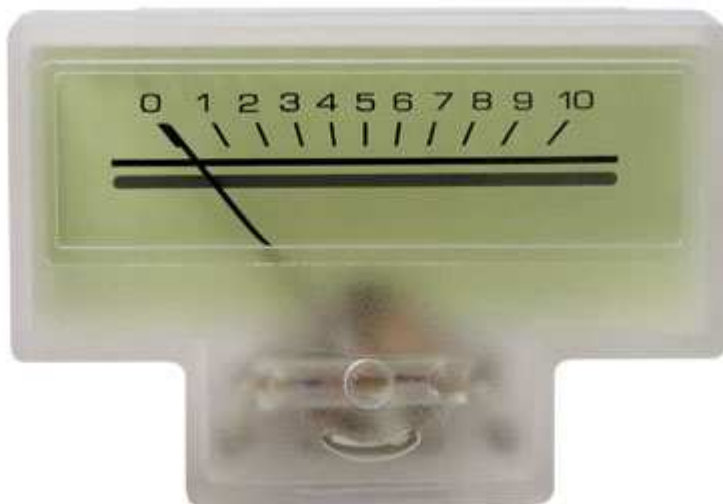
V následující tabulce je znázorněné zapojení vývodů modulu displeje. Pro komunikaci jsou použity datové vodiče DB4 – DB7 a řídicí signály RS, R/W a E. V této konstrukci je použita komunikace pomocí 4 bitové sběrnice pro jednoduchost realizace a úsporu pinů mikrokontroléru. Vodiče Vss a Vdd jsou napájecí, připojené ke zdroji +5 V. Na vodič Vo je přivedeno nastavitelné napětí pro regulaci kontrastu displeje. Toto se nastavuje trimrem umístěným poblíž displeje na optimální čitelnost zobrazovaných údajů.

Tab. 3 Zapojení vývodů displeje SC1602A

Číslo	Symbol	Úroveň	Název	Funkce
1	Vss	-	Zem	0 V
2	Vdd	-	Napájení	5 V
3	Vo	-	Kontrast	Nastavitelný
4	RS	H/L	Výběr registru	H: data, L: instrukce
5	R/W	H/L	Čtení/zápis	H: čtení, L: zápis
6	E	H, H->L	Povolení	Povolovací signál
7	DB0	H/L	Datový bit 0	8 bitové rozhraní
8	DB1	H/L	Datový bit 1	8 bitové rozhraní
9	DB2	H/L	Datový bit 2	8 bitové rozhraní
10	DB3	H/L	Datový bit 3	8 bitové rozhraní
11	DB4	H/L	Datový bit 4	4 nebo 8 bitové rozhraní
12	DB5	H/L	Datový bit 5	4 nebo 8 bitové rozhraní
13	DB6	H/L	Datový bit 6	4 nebo 8 bitové rozhraní
14	DB7	H/L	Datový bit 7	4 nebo 8 bitové rozhraní
15	A	-	Anoda podsvícení	Napájení podsvícení
16	K	-	Katoda podsvícení	Napájení podsvícení

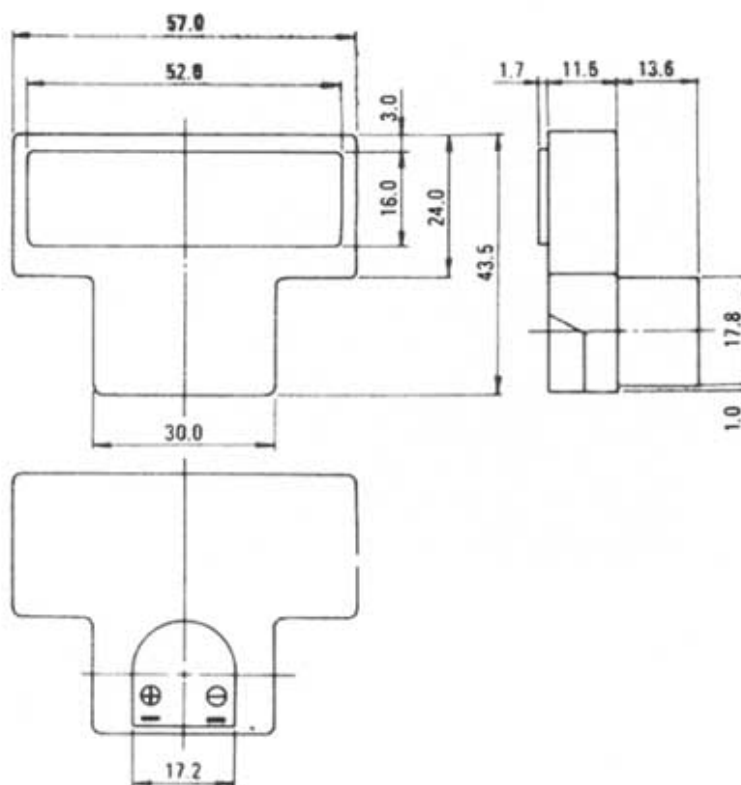
5.6 Indikátor FM152

K analogové indikaci slouží ručičkový magnetoelektrický indikátor FM 152 [8], s citlivostí 500 uA a vnitřním odporem 600 Ohmů. Je připojený přes předřadný odpor a kapacitní filtr k PWM výstupu použitého mikrokontroléru. Má za úkol indikovat změny v úrovni signálu bez nároku na přesnost. Jeho slabinou nepřesná charakteristika, která připomíná logaritmickou. Ta je proto v programu linearizována tabulkou, kdy je stupnice rozdělena na dílčí úseky, kdy každý z nich je charakterizován koeficienty rovnice přímky.



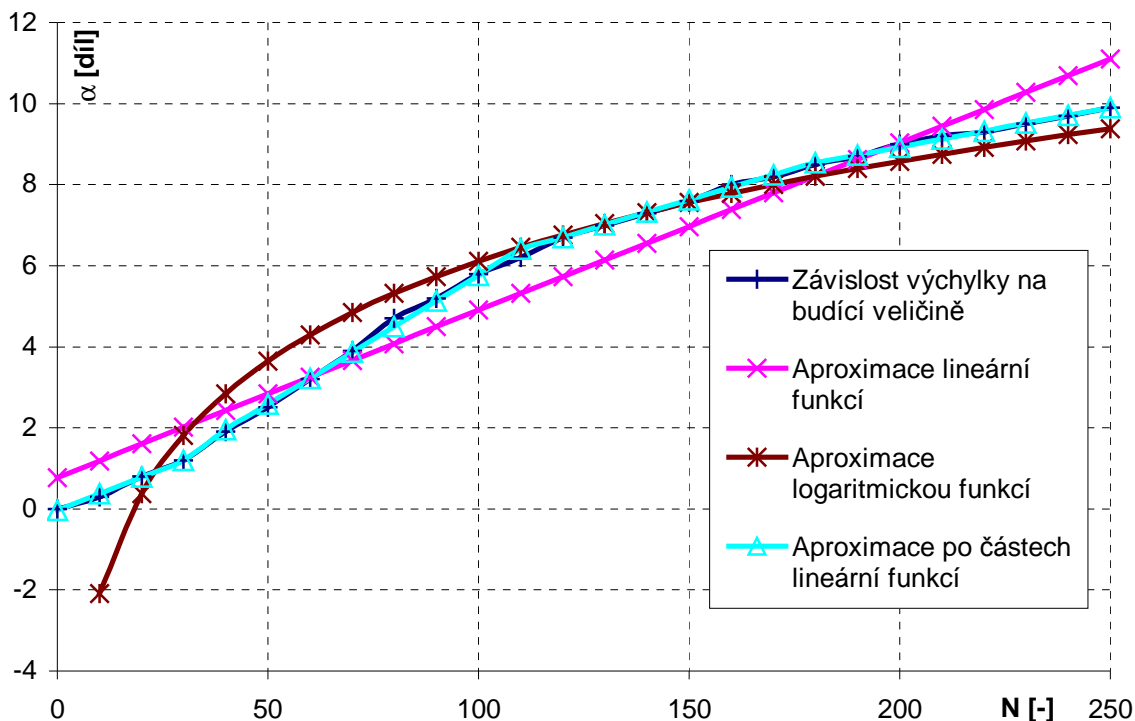
Obr. 11 Pohled na indikátor FM152B

Z mechanického hlediska tento indikátor vyhovuje pro montáž do zvolené krabičky s ohledem na ostatní části a jejich rozmístění. Má přijatelný vzhled, tvar a rozměry, viz. obr. 11 a 12.

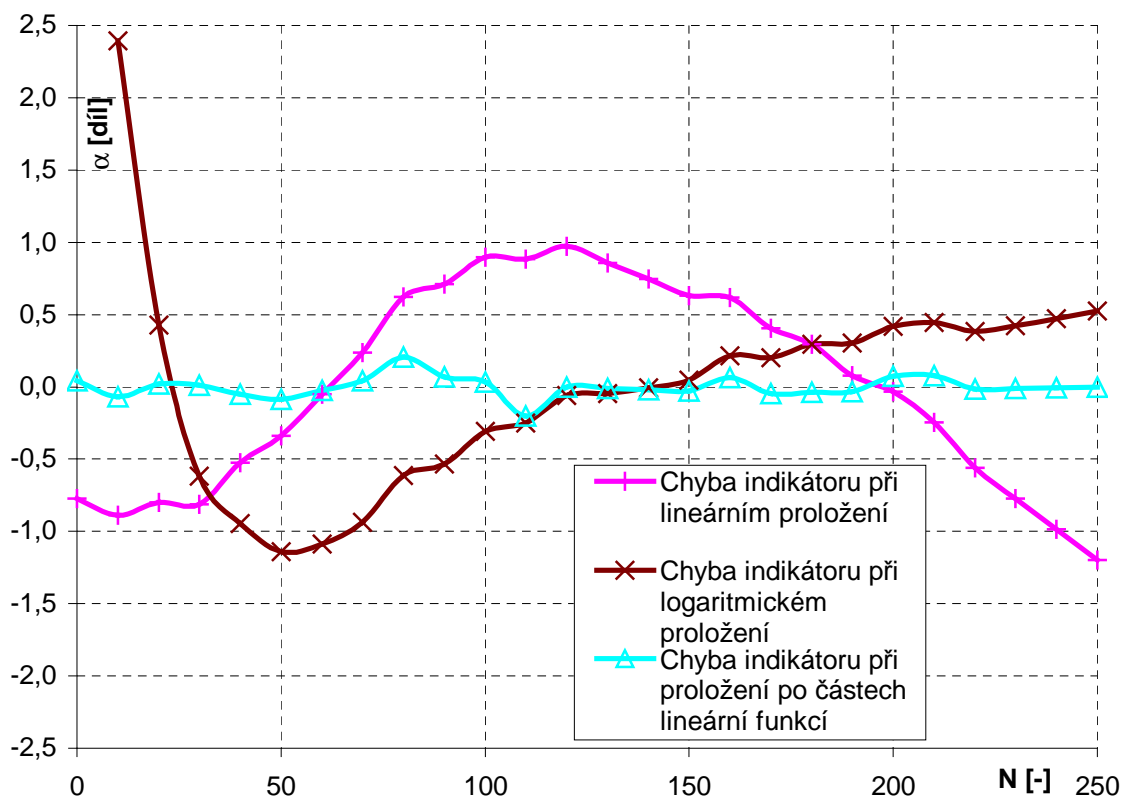


Obr. 12 Rozměrový náčrtek indikátoru FM 152B

Pro ilustraci vlastností indikátoru zde uvádím změřenou charakteristiku již v zapojení měřiče výkonu. Na vodorovné ose je hodnota komparačního registru pro PWM, kterou je indikátor přes filtr buzen. Byl zvolen rozsah do 250 jednotek a změřeno bylo 25 hodnot. Pro logaritmickou aproximaci není uvažován první bod charakteristiky. Dobré výsledky dává aproximace po částech lineární funkcí. Její chyba nepřesáhne $\pm 0,2$ dílku stupnice

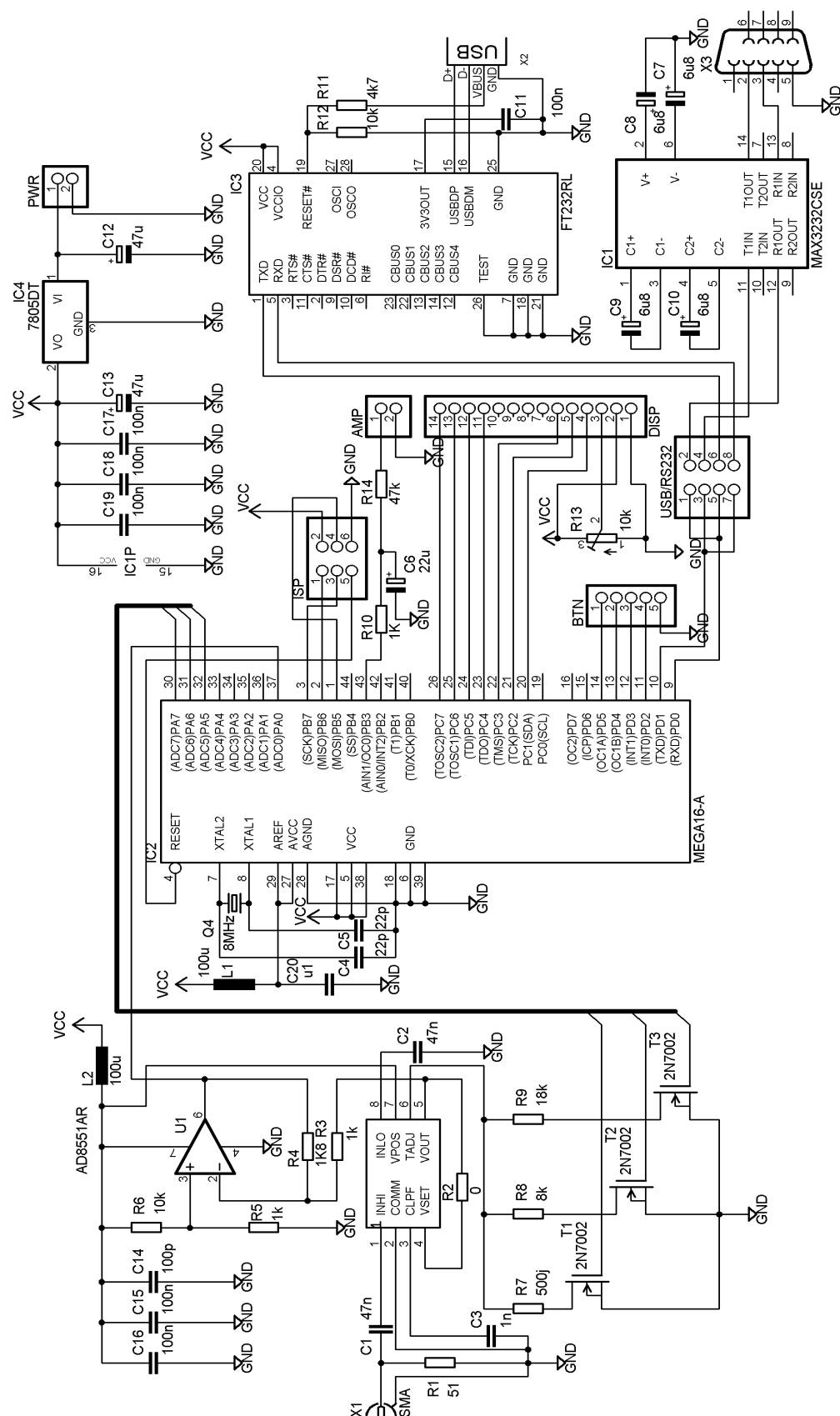


Obr.13 Převodní charakteristika indikátoru FM152B



Obr. 14 Chyba indikátoru FM152B při proložení funkcemi

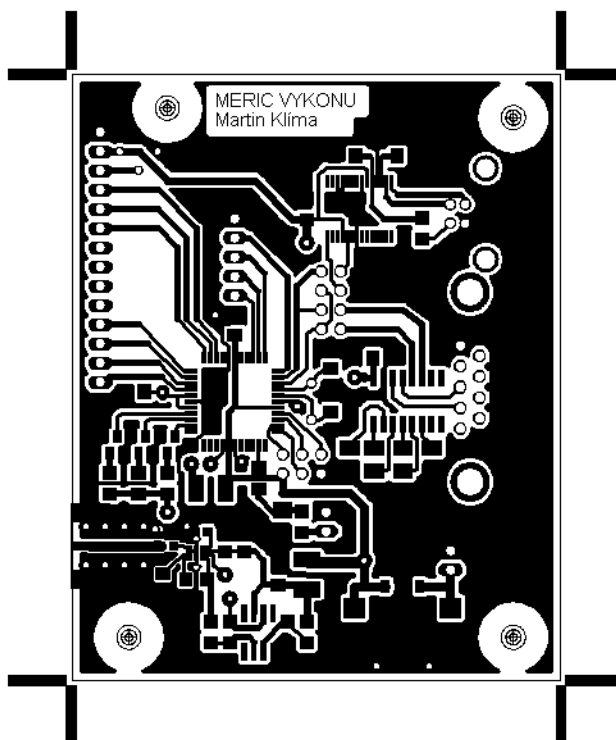
6 Schéma zapojení



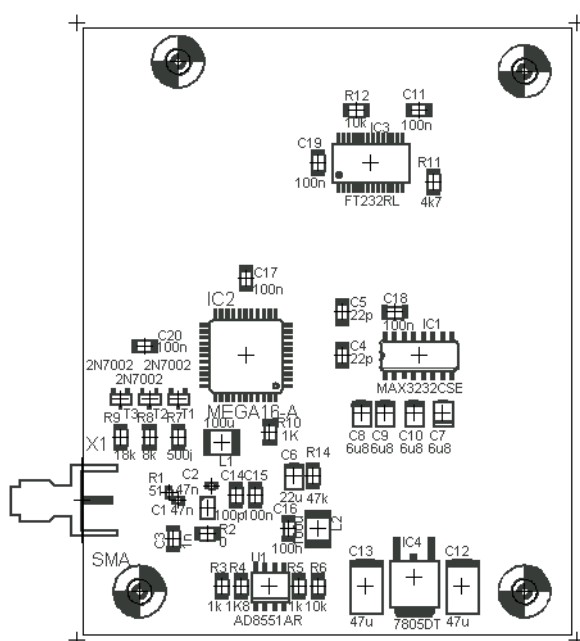
Obr. 15 Schéma zapojení desky měřiče

7 Deska plošných spojů a osazovací plán

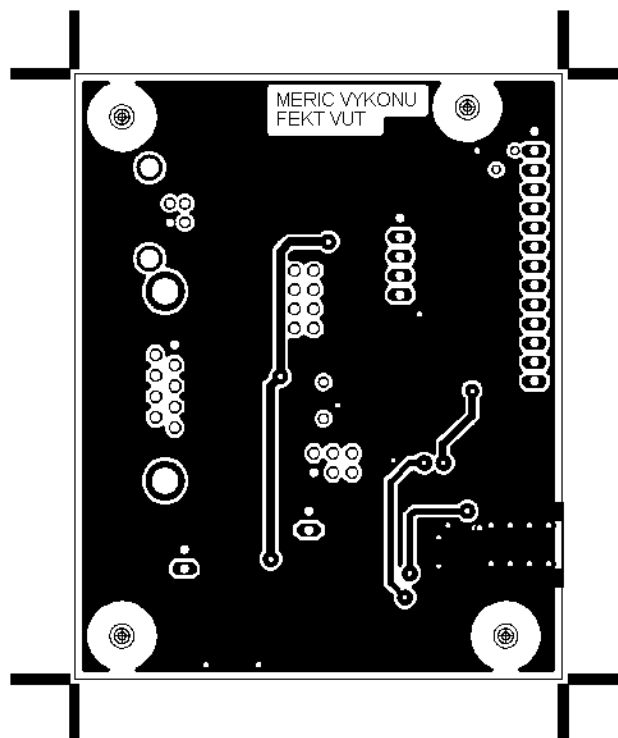
Deska plošných spojů měřiče byla navržena s ohledem na možnou budoucí zástavbu do přístrojové krabičky a rozmístění přípojných bodů. Přitom je do jisté míry univerzální a mechanicky neomezuje připojení displeje, analogového měřidla, ovládacích tlačítek a napájecího konektoru, které je možno umístit prakticky libovolně ve zvolené krabičce. DPS je oboustranná se smíšenou montáží o rozměrech 65x80 mm.



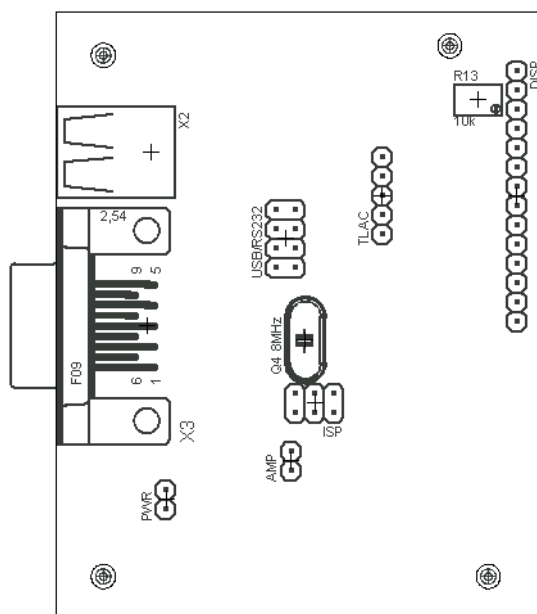
Obr. 16 Deska plošných spojů, horní strana



Obr. 17 Osazovací plán, horní strana



Obr. 18 Deska plošných spojů, spodní strana

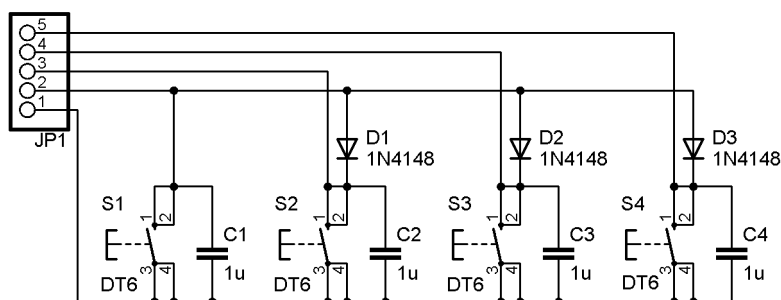


Obr. 19 Osazovací plán, spodní strana

Deska plošných spojů umožňuje volitelně osadit krystal pro oscilátor mikrokontroléru, který v této práci není využit z důvodu nepotřeby. Podobně je možno vypustit libovolný ze stykových obvodů pro sériovou komunikaci, včetně příslušných součástek a konektorů. Vzhledem k pouhému vyvedení části portu D na konektor, jsou možné i modifikace zapojení tlačítek, anebo je možno úplně změnit způsob ovládání.

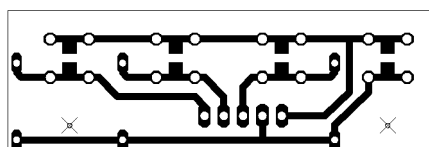
8 Schéma zapojení a obrazec desky tlačítek

Deska tlačítek je samostatný montážní díl umístěný na čelním panelu jako subpanel. Nese tlačítka a k nim příslušející pasivní součástky. Diody umožňují využít k obsluze tlačítek externí přerušení. Kondenzátory tvoří spolu s pull-up rezistory mikrokontroléru RC články. Ve spojení se způsobem spouštění přerušení hranou je funkce tlačítek přesná a bezchybná.

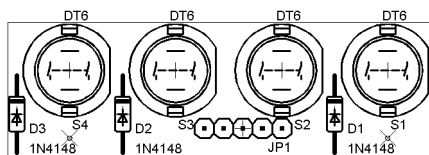


Obr. 20 Schéma zapojení desky tlačítek

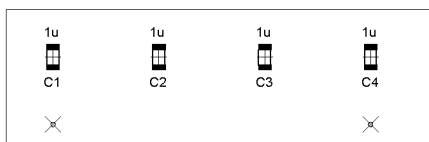
Obrazec desky tlačítek je jednoduchý, tlačítka a diody jsou umístěny klasickou montáží na straně součástek, kondenzátory pak na straně spojů.



Obr. 21 Obrazec desky, strana spojů



Obr. 22 Osazovací plán, strana součástek



Obr. 23 Osazovací plán, strana spojů

K upevnění desky tlačítek slouží dva naznačené otvory o průměru 2,7 mm pro šrouby M2,5 x 16, pomocí nichž se deska přišroubuje přes distanční sloupky délky 10 mm k čelnímu panelu. Vzhledem k malým rozměrům desky je toto upevnění dostatečně tuhé a stisk tlačítka je jistý.

8 Ovládání přístroje

Přístroj se zapíná vypínačem umístěným na zadní stěně skříňky. Pokud je připojený adaptér zapnutý v zásuvce, zobrazí se ihned na displeji měřené údaje v základním nastavení.

8.1 Popis displeje

Na displeji se zobrazují stále údaje o měřené hodnotě výkonu v prvním řádku a to v závislosti na nastavení dalších parametrů. Dále se zobrazuje indikace mimo rozsah.

V druhém řádku se zobrazuje aktuální parametr který může být bezprostředně měněn.



Obr. 24 Výchozí stav po zapnutí, zobrazení v dBm

8.1 Popis ovládání

Ovládání přístroje je realizováno čtyřmi tlačítky na čelním panelu, kterými se volí příslušné funkce. Tlačítko dBm/W se přepíná zobrazení údaje na displeji v jednotkách dBm nebo v W.



Obr. 25 Alternativní zobrazení ve W

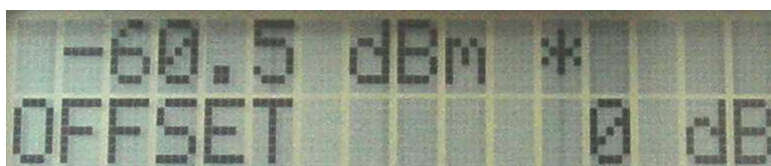
Následující parametry je možno volit opakovaným stiskem tlačítka SET, u každého z nich se zobrazí aktuální hodnota kterou je možno okamžitě měnit dvěma tlačítky UP a DOWN.

Pracovní kmitočet FREQ je možno volit z pevné řady. Pro tyto kmitočty je přístroj kalibrován.



Obr. 26 Volba frekvence FREQ

K naměřenému údaji je vždy připočten nastavený offset OFFSET, který lze volit s krokem 10dB v rozsahu +- 100dB. V základním nastavení je offset nulový. Offset má vliv jak na údaj v dBm, tak i na údaj v mW.



Obr. 27 Nastavení offsetu OFFSET

Poslední dva údaje se týkají analogového indikátoru. Ofset údaje indikovaného analogově AN OFS je volitelný s krokem 10dB.



Obr. 28 Nastavení ofsetu analogového indikátoru

Rozsah analogového indikátoru AN RNG je volitelný z řady 3 dB, 10 dB a plného rozsahu měřidla.

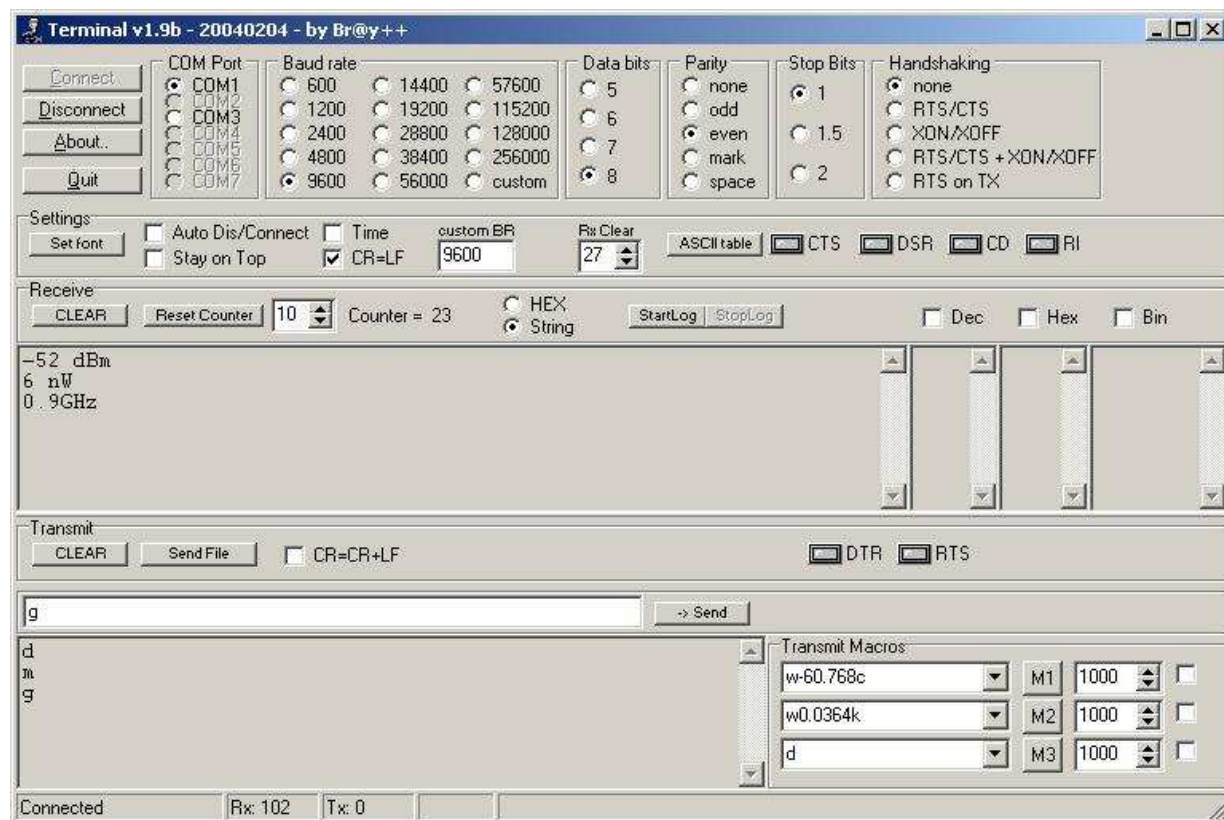


Obr. 29 Nastavení rozsahu analogového indikátoru

9 Komunikace s osobním počítačem PC

Komunikace s osobním počítačem je řešena jako sériová podle normy RS232 s možností alternativně použít rozhraní USB emulujícího sériový port na počítači, který jej neobsahuje. Tím je dosaženo kompatibility prakticky se všemi dostupnými počítači a univerzálnosti použití.

Na straně osobního počítače je komunikační rozhraní zabezpečeno terminálem. Konkrétně je použit freeware software Terminal v1.9b [10], viz. ukázka na obr. 30.



Obr. 30 Příklad komunikace pomocí terminálu

9.1 Popis dálkového ovládání

Pomocí dálkového ovládání z terminálu osobního počítače je možno číst naměřený údaj, volit pracovní kmitočet a zejména provést kalibraci přístroje.

Ke čtení naměřeného údaje slouží následující příkazy:

- d - čte naměřený údaj v dBm
- m - čte naměřený údaj v W
- n – použitelný při kalibraci, čte přímo hodnotu A/D převodu.

K nastavení přístroje slouží

- f – pro nastavení frekvence, akceptuje pořadové číslo z řady frekvencí
- w – spolu se zadaným číslem a sufixem k nebo c zapíše kalibrační konstantu.

9.2 Popis kalibrace přístroje

Kalibrace se provádí pomocí počítače připojeného k měřiči. Pro kalibraci přístroje je třeba zkontrolovat jeho údaj v několika bodech porovnáním s přesnějším měřičem. Pro čtení hodnot AD převodu se použije příkaz „n“, který vrací číselnou hodnotu AD převodu.

Z údaje přesného měřiče výkonu a několika hodnot získaných z kalibrovaného přístroje vypočteme koeficienty rovnice přímky

$$y = k \cdot x + c, \quad (1)$$

kde k je lineární člen a c je absolutní člen. Druhá možnost je použít k tomuto účelu tabulkový procesor který umožní pohodlné zobrazení grafu a odhad chyby zejména na okrajích rozsahu. Zjištěné koeficienty zadáme pro danou frekvenci pomocí terminálu příkazem ve tvaru „wx.xxxk“ pro zápis „k“, nebo „wx.xxxc“ pro zápis „c“, kde xx.xxx jsou číselné hodnoty.

Tento postup se zopakuje podle potřeby i pro další frekvence, které se zadají buď přímo na přístroji, nebo pomocí příkazu „fx“, kde x je pořadové číslo použité frekvence.

10 Softwarové vybavení mikrokontroléru

Ovládací program přístroje je psaný v jazyce C v prostředí AVRStudio [11] s pluginem AVR-GCC [12] s využitím knihovny obsluhy inteligentního lcd displeje od p. Fleuryho, upravené Ing. Frýzou, Ph.D. [13].

10.1 Nastavení periferií mikrokontroléru

Periferie mikrokontroléru použité v této konstrukci obsazují všechny jeho porty.

10.1.1 Nastavení portu A

Na portu A je připojený A/D převodník, zároveň se tři bity portu A využívají pro ovládání spínačů teplotní kompenzace logaritmického detektoru.

Pro požadovanou funkci A/D převodníku je třeba zvolit vhodnou referenci – externí zdroj referenčního napětí a nastavit použitý vstup ADC0. Pro danou funkci portu se nastaví tři nejvyšší bity portu jako výstupní.

10.1.2 Nastavení portu B

Na portu B je připojen výstup čítače/časovače, který je použit pro generaci PWM signálu pro napájení analogového měřidla. Dále se používá k programování mikrokontroléru přes rozhraní ISP. Je tedy třeba nastavit daný pin OC0 jako výstupní, mód T/C0 na Phase-Correct-PWM, kladnou polaritu výstupního signálu a hodnotu předděličky.

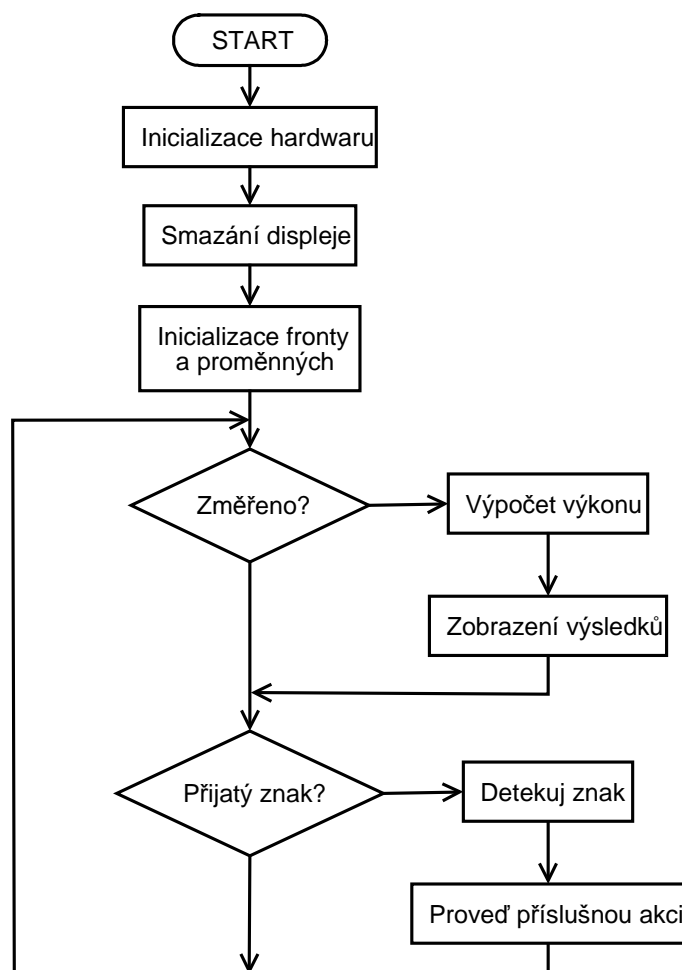
10.1.3 Nastavení portu C

Port C je používá pro ovládání LCD displeje, je téměř celý využit a je nastaven jako výstupní. Horní 4 bity D4 – D7 jsou určeny pro přenos dat, bity D1 – D3 pak pro řídicí signály.

10.1.4 Nastavení portu D

Port D je využit pro sériovou komunikaci a jako vstupní pro čtení tlačítek ovládání. Signály Rx a Tx jsou přítomny na pinech PD0 a PD1, tlačítka jsou připojena k pinům PD2 – PD5. V řídicím registru portu D určím piny PD2 – PD5 jako vstupní.

10.2 Popis programu mikrokontroléru



Obr. 31 Vývojový diagram programu mikrokontroléru

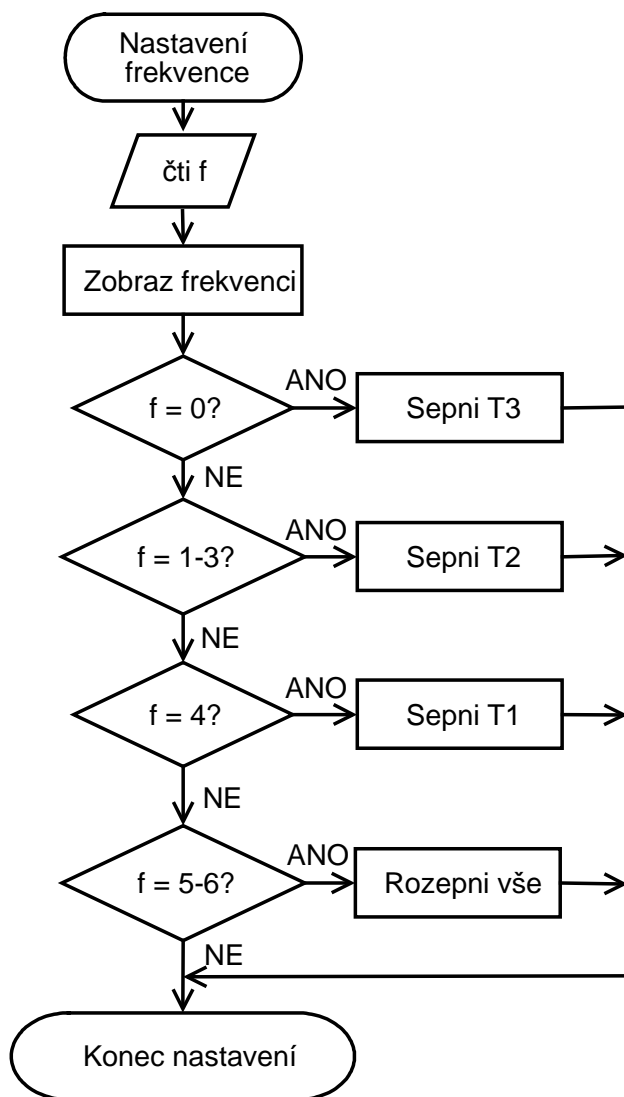
Funkce HW_Init zajišťuje nastavení registrů:portů, DDRA – DDRC, A/D převodníku, ADMUX a ADCSRA, vstupu vnějšího přerušení MCUCR, GICR a dvou použitých časovačů.

Funkce USART_Init nastaví registry UBRRL:H pro nastavení přenosové rychlosti 9600 baudů/s, v UCSRB povolí přijímač, vysílač a přerušení přijímače. V UCSRC pak nastaví formát datového rámce na 8 datových bitů, lichou paritu a jeden stop bit. Používá se asynchronní mód.

Funkce USART_Transmit zajišťuje vyslání jednoho znaku. Kontroluje dokud není vyprázdněný vysílací buffer UDR a v případě jeho uvolnění do něj zapíše požadovaný znak. Je využívána jednak samostatně pro vyslání zvláštního znaku, jednak ve funkci usart_puts pro vyslání řetězce.

Funkce EEPROM_write pro zápis a EEPROM_read pro čtení přímo přistupují k paměti EEPROM, která se používá k uložení kalibrační tabulky měřiče, kterou lze v případě potřeby přepsat. Využívají je funkce WriteK, ReadK, resp. WriteC, ReadC. Tyto zabezpečují zapsání případně přečtení proměnné typu float s využitím faktu, že proměnná typu float je dlouhá čtyři bajty. Přistupují tedy k paměti vždy čtyřikrát s patřičným offsetem pro každou položku tabulky.

Funkce Set_Freq slouží jednak k zobrazení hodnoty nastavené frekvence na displeji, potom také k přepnutí spínacích MOSFET tranzistorů spínajících rezistory teplotní kompenzace. Zapisuje tedy po bitech na port A.



Obr. 32 Vývojový diagram funkce Set_Freq

Funkce `Disp_Value` zajišťuje převod vypočtené hodnoty výkonu na řetězec a jeho zobrazení v daném formátu a na dané místo displeje. Pro každý případ doplní řetězec hodnoty správnou jednotkou, v případě zobrazení ve `W` zvolí vhodnou velikost jednotky. Funkce dále kontroluje, zda je měřená veličina v rozsahu zvolené přesnosti a pro případ slabého signálu na prahu citlivosti zobrazí za měřený údaj informativní hvězdičku nebo v případě překročení horní meze vypíše text „OVER“.

Na předchozí funkci navazuje vždy následně volaná funkce `Disp_Analog`, která zobrazuje měřený údaj na analogovém indikátoru pomocí pulzně šířkové modulace, resp. porovnávacího registru `OCR0`. Vzhledem k požadavku na tři různé rozsahy funkce zajistí rozdělení měřené hodnoty po třech nebo deseti dB, zjistí znaménko a zobrazí výchylku vždy ve správném smyslu s rostoucím výkonem doprava. Pro zobrazení plného rozsahu je použita přímo hodnota z A/D převodu, protože pro celý kmitočtový rozsah se dynamika mění. Údaj je potom informativní.

Funkce `Measure` provede výpočet správné hodnoty v dBm podle rovnice přímky dané kalibračními konstantami `k` a `c`, které jsou uloženy v paměti `EEPROM`. Dále provede výpočet výkonu ve `W` a zvolí vhodné měřítko s ohledem na velikost měřeného výkonu.

Funkce `Comm` slouží ke komunikaci s měřičem pomocí terminálu. Přečte každý znak přijatý do fronty. Na vybrané znaky odpoví příslušným naměřeným údajem včetně jednotek, případně údajem o nastavené frekvenci. Nastavení frekvence proběhne tak, že po znaku značícím nastavení kmitočtu se čeká na pořadové číslo frekvence. Zápis do kalibrační tabulky je složitější, po uvození znakem „w“ pro zápis se čtou znaky a kontrolují na znaménko minus, čísla, desetinnou tečku a koncový znak „k“ nebo „c“, který určí na které místo v paměti `EEPROM` se načtená hodnota uloží. Po vyčerpání znaků z fronty se její konec rovná počátku a `Comm` se dále nevolá.

Funkce `Disp_Par` zapisuje na druhý řádek displeje řetězec označující zvolený parametr `par` a zároveň k ní příslušnou aktuální hodnotu. Pro případ nastavení kmitočtu se volá funkce `Set_Freq`. Pokud je proměnná `par` z rozsahu 1 až 3, zobrazuje hodnotu offsetu, pro další případ hodnotu offsetu indikátoru a nakonec pro poslední případ hodnotu zvoleného rozsahu indikátoru.

Funkce `execute_btn1` je volaná z obsluhy externího přerušení od tlačítek pro konkrétní tlačítko 1, které má funkci zvyšování voleného údaje. Funkce `execute_btn2` má funkci opačnou – snižuje. Podle hodnoty parametru `par` rotuje nahoru frekvenci nebo inkrementuje jednotlivé údaje, funkce `execute_btn2` naopak rotuje dolů nebo dekrementuje. Pro hodnoty offsetů se hlídají meze ± 100 dB které nelze překročit, hodnota rozsahu indikátoru se nerotuje. Na konci těchto funkcí se volá `Disp_Par` pro aktualizaci zobrazení.

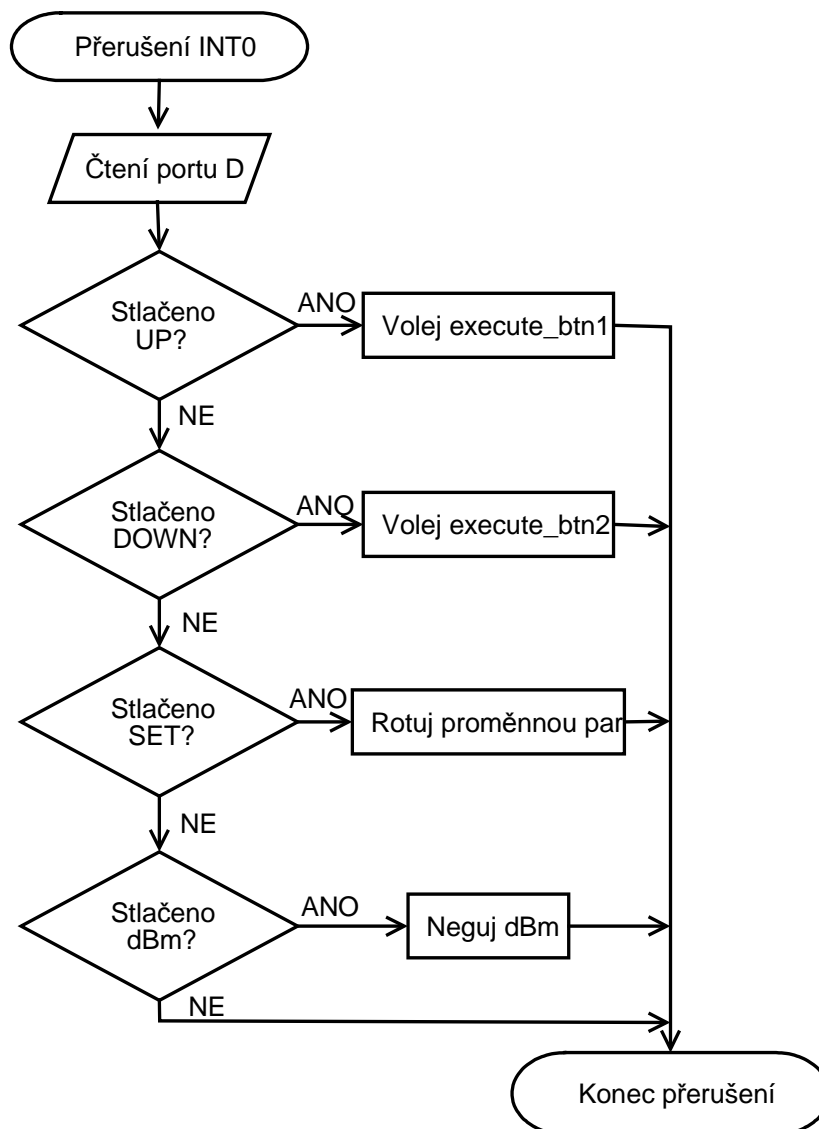
Hlavní funkce `main` je jednoduchá. Jako první se provede inicializace displeje a portů, poté se nastaví potřebné registry pro periferie a nakonec se povolí přerušení. Dále program běží v hlavní smyčce. K obsluze periférií jsou většinou použita přerušení, což je výhodné. Funkci `main` nejlépe charakterizuje vývojový diagram na obrázku 31.

V obsluze přerušení přijímače sériového portu `ISR(USART_RX_Vect)` se uloží přijatý znak do fronty a inkrementuje se konec fronty.

Obsluha přerušení 16ti bitového časovače `ISR(TIMER1_OVF_Vect)` provádí krátkou číslicovou filtraci naměřených vzorků, průměruje osm vzorků.

Obsluha `ISR(INT0_Vect)`, tedy přerušení od tlačítek porovnává vstupní hodnotu z portu `D` s maskou pro určení jednotlivých tlačítek. Při stisku tlačítka dBm/W neguje stavovou proměnnou dBm a tím dává najevo funkci `Disp_Value` jakou veličinu a jednotku má zobrazit.

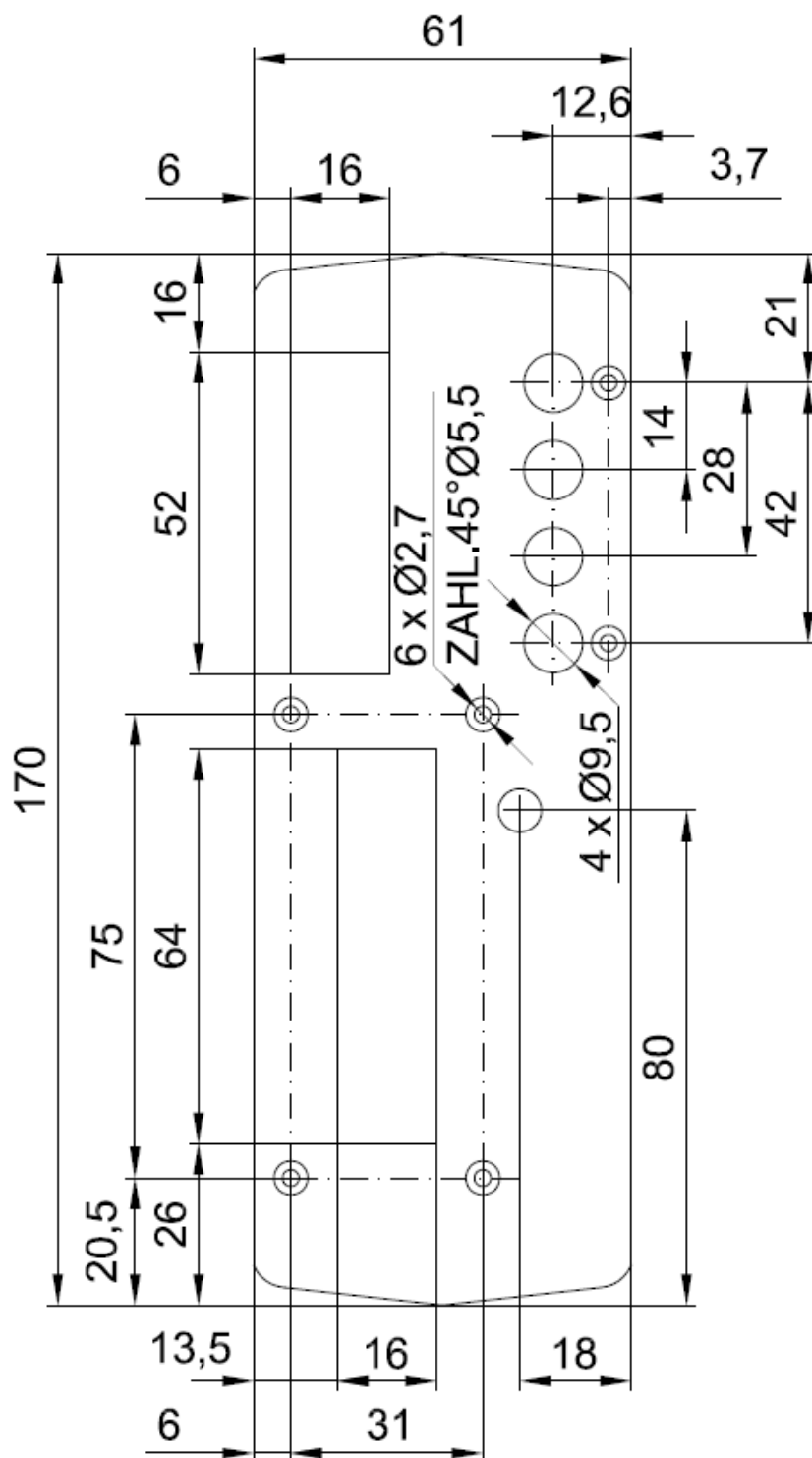
Tlačítko SET rotuje proměnnou par, která určuje aktuálně zobrazený parametr a volá Disp_Par pro aktualizaci zobrazení. Pro případ stisku tlačítka UP či DOWN se zavolá příslušná funkce execute_btn1 pro UP nebo execute_btn2 pro DOWN.



Obr. 33 Vývojový diagram obsluhy přerušení od tlačítek

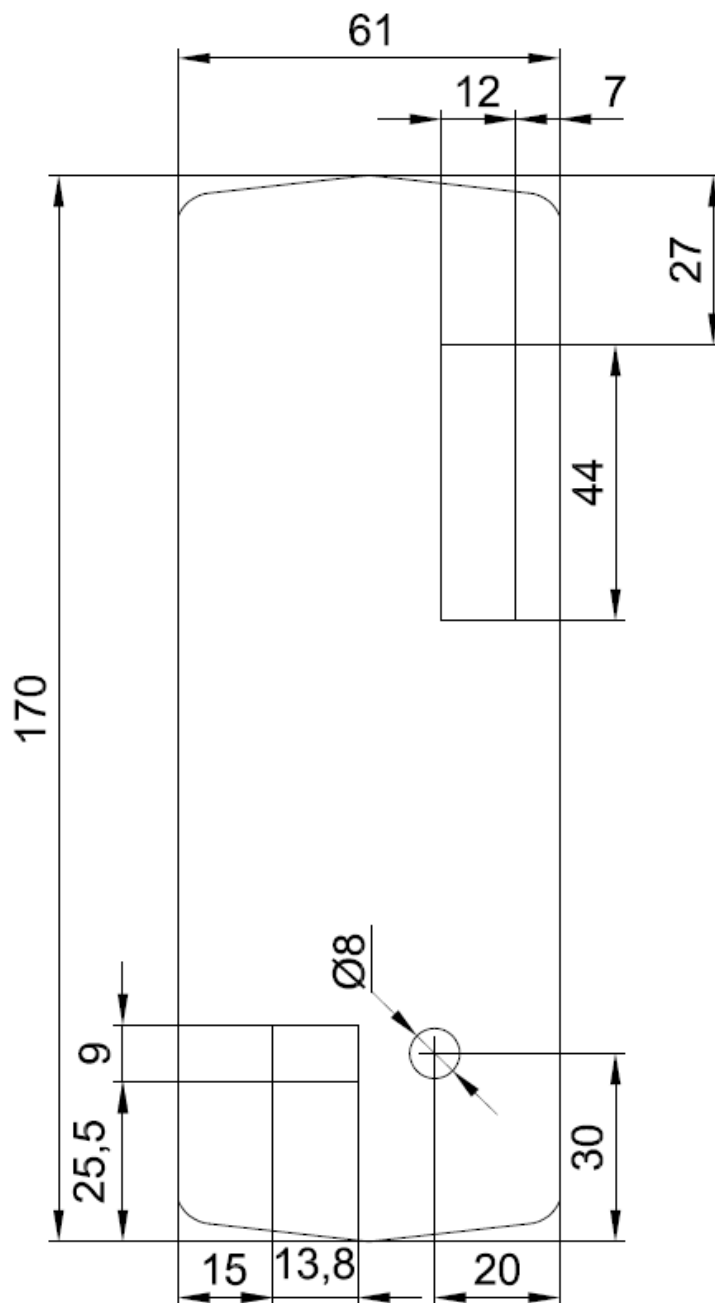
11 Mechanická konstrukce

Desku plošných spojů měřiče je vhodné spolu s ostatními díly uzavřít do vhodné přístrojové krabičky. Ta poskytne jednotlivým komponentům mechanickou oporu a krytí. Zároveň se přístroj stane plnohodnotným a v praxi použitelným. Proto jsem na základě rozměrových nároků jednotlivých částí a výběru vhodných krabiček na trhu zvolil jednoduchou plastovou krabičku U-KP11[7]. Rozměr desky plošných spojů je uzpůsoben rozměrům krabičky a displeje.



Obr. 34 Nákres čelního panelu krabičky KP11

Na obr. 34 je uveden náčrtek čelního panelu, na obr. 35 pak zadního panelu. Na čele krabičky je prostor pro displej, indikátor, vstupní konektor a umístění ovládacích tlačítek. Displej je přišroubován do panelu přes distanční sloupky délky 5 mm. Pro konstrukci displeje, který má hloubku asi 4,8 mm zbývá přiměřená mezera. Indikátor má nad stupnicí vystouplé okénko, která zapadá do výřezu v panelu. Připevněn je přilepením na vnitřní plochu panelu. Pod indikátorem je přišroubován plošný spoj s tlačítky. K jeho připevnění jsou použity dva zápusťné šrouby M2,5 x 16 s distančními sloupky délky 10 mm. Tyto zasahují až do vnitřního lemu spodního dílu krabičky, který je ve styčných místech upraven.

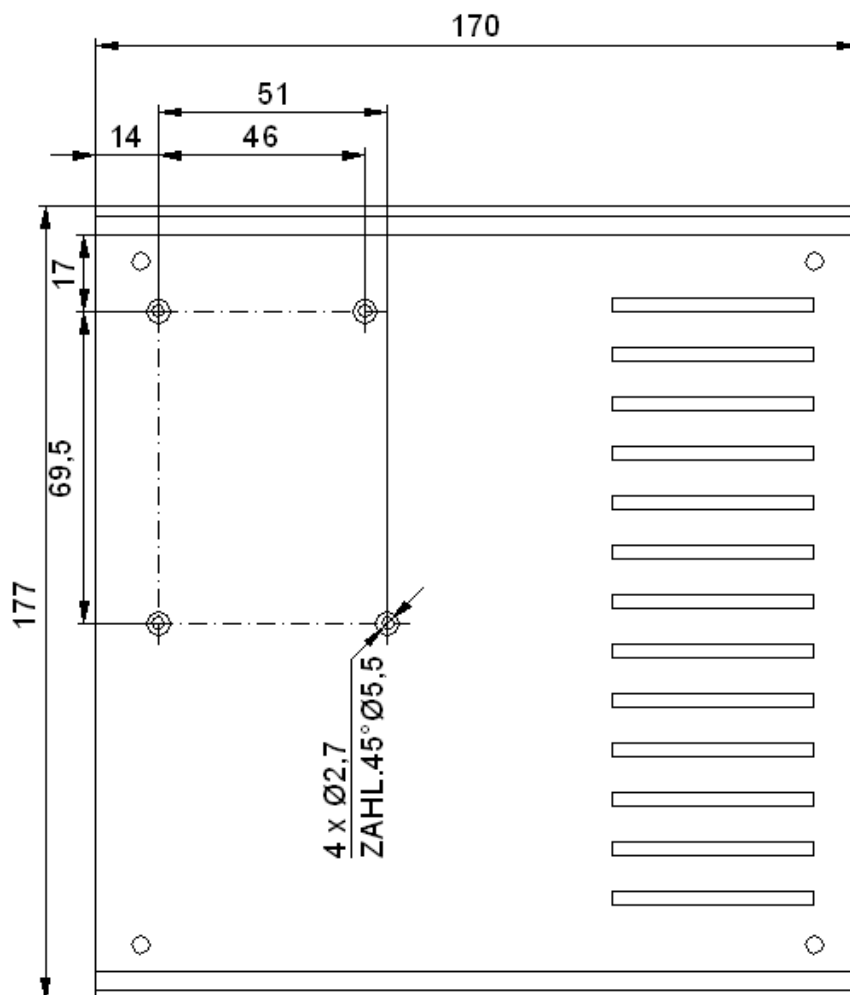


Obr. 35 Náčrtek zadního panelu krabičky KP11

Vypínač, napájecí konektor a konektory pro komunikaci s PC jsou umístěny na zadním panelu. Vypínač je zamáčkнутý do připraveného otvoru, napájecí konektor zašroubovaný pod něj. Pro komunikační konektory je proveden pouze výřez.

Spodní díl krabičky je upraven minimálně, podle obrázku 36 jsou vyvrtány čtyři otvory pro zápusťné šrouby M3x10. Těmi jsou připevněny kovové distanční sloupky s vnitřním závitem, do kterých je shora přišroubován plošný spoj měřiče.

K propojení Vstupního VF konektoru SMA s vedením na plošném spoji je použit úsek vedení semi-rigid. Propojení sesky měřiče s deskou tlačítek a displejem je provedeno plochými vícežilovými kablíky, podle potřeby opatřenými plochými konektory. Indikátor, napájecí konektor a vypínač jsou propojeny ohebným vodičem a spoje izolovány bužírkou.

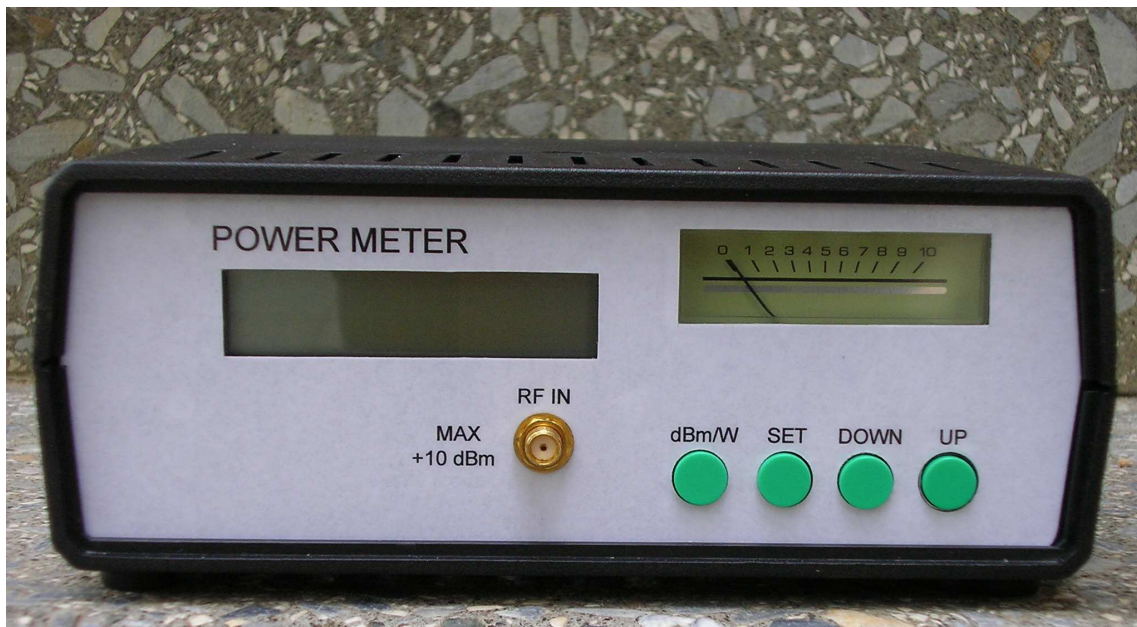


Obr.36 Náčres spodního dílu krabičky KP11

12 Celkové provedení měřiče

Čelní i zadní panel jsou opatřeny štítky, které jsou zhotoveny ze samolepícího papíru s potiskem a ochranné samolepící folie. V místech prostupů ovládacích a indikačních prvků a konektorů jsou do štítků vyříznuty otvory podle panelů. Potisk je součástí přílohy. Ovládací prvky a konektory mají popis.

Ovládací prvky jsou v rámci možností optimálně umístěny pro ovládání pravou rukou.



Obr. 37 Pohled zepředu na měřič



Obr. 38 Pohled zezadu na měřič

13 Seznam součástek a materiálu

Deska měřiče

Part	Value	Device	Package
AMP		PINHD-1X2	1X02
BTN		PINHD-1X5	1X05
C1	47nF	C-EUC0603	C0603
C2	47nF	C-EUC0603	C0603
C3	1nF	C-EUC1206	C1206
C4	22pF	C-EUC1206	C1206
C5	22pF	C-EUC1206	C1206
C6	22uF	CPOL-EUB/3528-21R	B/3528-21R
C7	6.8uF	CPOL-EUB/3528-21R	B/3528-21R
C8	6.8uF	CPOL-EUB/3528-21R	B/3528-21R
C9	6.8uF	CPOL-EUB/3528-21R	B/3528-21R
C10	6.8uF	CPOL-EUB/3528-21R	B/3528-21R
C11	100nF	C-EUC1206	C1206
C12	47uF	CPOL-EUD/7343-31R	D/7343-31R
C13	47uF	CPOL-EUD/7343-31R	D/7343-31R
C14	100pF	C-EUC1206	C1206
C15	100nF	C-EUC1206	C1206
C16	100nF	C-EUC1206	C1206
C17	100nF	C-EUC1206	C1206
C18	100nF	C-EUC1206	C1206
C19	100nF	C-EUC1206	C1206
C20	100nF	C-EUC1206	C1206
DISP		PINHD-1X14	1X14
IC1	MAX3232CSE	MAX3232CSE	SO16
IC2	MEGA16-A	MEGA16-A	TQFP44
IC3	FT232RL	FT232RL	SSOP28
IC4	7805DT	7805DT	TO252
ISP		PINHD-2X3	2X03
L1	100uH	L-EUL1812	L1812
L2	100uH	L-EUL1812	L1812
PWR		PINHD-1X2	1X02
Q4	8MHz	CRYSTALHC49U70	HC49U70
R1	51	R-EU_R0603	R0603
R2	0	R-EU_R1206	R1206
R3	1k	R-EU_R1206	R1206
R4	1k8	R-EU_R1206	R1206
R5	1k	R-EU_R1206	R1206
R6	10k	R-EU_R1206	R1206
R7	500	R-EU_R1206	R1206
R8	8k	R-EU_R1206	R1206
R9	18k	R-EU_R1206	R1206
R10	1k	R-EU_R1206	R1206
R11	4k7	R-EU_R1206	R1206
R12	10k	R-EU_R1206	R1206

R13	10k	R-TRIMM74W	RTRIM74W
R14	47k	R-EU_R1206	R1206
T1	2N7002	2N7002	SOT23
T2	2N7002	2N7002	SOT23
T3	2N7002	2N7002	SOT23
U2	AD8317	AD8317	LFCSP_VD_S
U1	AD8551AR	AD8551AR	SO8
USB/RS232		PINHD-2X4	2X04
X1	SMA	SMA-142-0701-881/886	J502-ND-142-0701-881/886
X2		USB-B-H	USB-B-H
X3		F09HP	F09HP

Deska tlačítek

Part	Value	Device	Package
C1	1uF	C-EUC1206	C1206
C2	1uF	C-EUC1206	C1206
C3	1uF	C-EUC1206	C1206
C4	1uF	C-EUC1206	C1206
D1	1N4148	1N4148	DO35-10
D2	1N4148	1N4148	DO35-10
D3	1N4148	1N4148	DO35-10
JP1		PINHD-1X5	1X05
S1	DT6	DT6	DT6
S2	DT6	DT6	DT6
S3	DT6	DT6	DT6
S4	DT6	DT6	DT6

Ostatní materiál

Krabička KP11
 Indikátor FM152B
 Vypínač P-SM101-1R3
 Konektor K3716A
 Páskový vodič, ohebný vodič, bužírka
 Distanční sloupky DI5M3x20 4ks
 Distanční sloupky KDR10 2x
 Distanční sloupky KDR05 4x
 Šrouby se zápusťnou hlavou M3x10 4x
 Šrouby s válcovou hlavou M3x6 4x
 Šrouby se zápusťnou hlavou M2,5x16 6x
 Matice M2,5 6x
 Samolepící papír A4
 Samolepící folie APLI

Závěr

V této práci jsem se seznámil s vlastnostmi použitého logaritmického detektoru AD8317 a možnostmi jeho použití. Na základě získaných poznatků jsem navrhl obvodové řešení měřiče. Vybral jsem vhodné součástky pro realizaci zapojení, navrhnul jsem schéma zapojení a obrazec desky plošných spojů. Sestavil jsem měřič výkonu a předběžně zkontroloval jeho základní funkčnost.

V dalším pokračování této práce jsem vytvořil kompletní obsluhu všech periférií, nastavení všech parametrů hardwaru pro optimální výsledky. Na základě dat získaných kontrolním měřením jsem sestavil kalibrační tabulku přístroje. Jde o soubor (kalibračních) konstant pro zvolenou řadu kmitočtů. Jako výchozí data pro orientaci byla použita výše uvedená tabulka 1. Pro zvolenou přesnost 1dB má realizovaný měřič dynamiku asi 30dB a lepší, v zadaném pásmu kmitočtů. Rozlišení zobrazení je nastavena na desetinu dB. Přístroj umožňuje nastavení offsetu na desetiny dB v rozsahu $\pm 100\text{dB}$, Pro analogový indikátor lze nastavit zvlášť offset k základnímu a zvolit rozsah 3 dB, 10 dB a plný rozsah měřiče. Zobrazení je v jednotkách dBm nebo volitelně ve W.

Komunikace s měřičem je zajištěna jak hardwarově tak i softwarově. Získaná data lze zpracovávat např. tabulkovým procesorem, výsledky prezentovat a archivovat. Je zajištěna možnost měřič kalibrovat.

Mým cílem bylo vytvořit kompletní řešení zahrnující i mechanickou konstrukci a zhotovení přístroje tak, aby mohl zcela plnit svůj účel a byl užitečný při práci. Proto jsem počítal s vestavbou do skříňky a vytvořil podklady pro úpravu vhodného typu KP11.

Literatura

- [1] AD8317 1 MHz to 10 GHz Logarithmic Detector/Controller [online], Analog Devices, 2006 - [cit. 22. února 2007]. Dostupné na http://www.analog.com/en/prod/0.,770_847_AD8317%2C00.html
- [2] ATmega16 AVR microcontroller [online], Atmel corporation, 2006 - [cit. 10. října 2007]. Dostupné na <http://www.atmel.com/literature>
- [3] AD8551 Zero-Drift, Single-Supply, Rail-to-Rail Input/Output Operational Amplifier (Single) [online], Analog Devices, 2007 - [cit. 12. listopadu 2007]. Dostupné na <http://www.analog.com/en/prod/0%2C2877%2CAD8551%2C00.html>
- [4] MAX232 Dual EIA-232 Driver/Receiver [online], Texas Instruments, 2002 - [cit. 17. listopadu 2007]. Dostupné na <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/max232.html>
- [5] FT232R USB to serial UART interface [online], Future Technology Devices International Ltd., 2005 - [cit. 17. listopadu 2007]. Dostupné na <http://www.ftdichip.com/Products/FT232R.htm>
- [6] SC1602A Character Display Module [online], Micro Electronics Corporation, 2007 - [cit. 10. prosince 2007]. Dostupné na <http://microelect.net/lcd/charact/SC1602A.PDF>
- [7] U-KP11 Přístrojová skříňka [online], GM Electronic, s.r.o., 2007 - [cit. 12. prosince 2007]. Dostupné na <http://www.gme.cz/cz/index.php?page=product&detail=622-411>
- [8] FM152 Analogový indikátor vybuzení [online], GES Electronics, 2007- [cit. 12. prosince 2007]. Dostupné na <http://www.ges.cz/?ipp=12&lang=cz&cur=CZK&or=sort&page=index&of=1&gcat=XI9&inc=detail&gesid=GES07313012>
- [9] AppCAD v.3.0.2 [online], Agilent Technologies, 2002 - [cit. 12. prosince 2007]. Dostupné na <http://www.hp.woodshot.com/>
- [10] Terminal v.1.9b [online], Bray++, 2004 – [cit. 2. května 2008] Dostupné na <http://rs232.hw.cz/#Software>
- [11] AVR Studio 4 [online], Atmel corporation, 2007 – [cit. 2. května 2008] Dostupné na http://atmel.com/dyn/products/tools.asp?family_id=607
- [12] WinAVR [online], Eric Weddington, 2007 – [cit. 2. května 2008] Dostupné na http://sourceforge.net/forum/forum.php?forum_id=767068
- [13] FLEURY Peter, FRÝZA Tomáš, BREINING Thomas. Funkce pro ovládání lcd displeje [online], 2007 – [cit. 2. května 2008]. Dostupné na intranetu ÚREL FEKT VUT v Brně

Příloha 1. Výpis programu mikrokontroléru

1 Inicializace

```
#include "lcd_h.h"
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <ctype.h>
#define FOSC 4000000 // hodinovy kmitocet
#define BAUD 9600 //prenosova rychlost
#define MYUBRR FOSC/16/BAUD-1 //vypocet hodnot registru UBRR
#define FIFO_LENGTH 20 //delka fronty
```

2 Deklarace a definice globálních proměnných

```
typedef enum{ //vyctovy typ pro funkci Comm()
    SET_NOTHING = 0,
    SET_FREQ,
    SET_CONSTANT
}set_flag;
int ADCRES = 0;
unsigned int par = 0, dBm = 0, an_rng = 1, key = 0, freq = 0,
           pozice = 0, status = 0, head = 0, tail = 0;
char adc_result [5]; //retezec hodnoty AD prevodu
char fifo [FIFO_LENGTH]; //fronta
char dispfreq[][8] = {"0.9 GHz",
"1.9 GHz","2.2 GHz","3.6 GHz","5.8 GHz","8.0 GHz"," 10 GHz"};
char disppar [][7] = {"FREQ ", "OFFSET", "AN OFS", "AN RNG"};
double power = 0, power_W = 0,
offset = 0, an_ofs = 0, an_power = 0;
char value [10]; //retezec vypoctene hodnoty dBm
char value_W [8]; //retezec vypoctene hodnoty mW
char disp_rng[][6] = {" 3 dB", "10 dB", "Range"};
//promenne k vypoctu vykonu
float k;
float c;
```

3 Funkce HW_Init

```
void HW_Init (void)
{
    //def. casti portu A jako vystup spinani RtADJ.
    DDRA = (1<<5) | (1<<6) | (1<<7);
    DDRB = (1<<3); //def p3B jako vystup PWM.
    //pullup rezistory 32k na vstupni piny.
    PORTD = (1<<2) | (1<<3) | (1<<4) | (1<<5);

    ADMUX = (1<< REFS0); //AVCC na AREF pin, vstup ADC0
```

```

ADCSRA = (1<< ADEN)|(1<<ADSC)|(1<<ADPS0)|(1<<ADPS1)|(1<<ADPS2)
|(1<<ADATE); //ADC povolen, start, deleni osc.128, AutoTrigger

MCUCR = (1<<ISC01);          //INT0 na sestupnou hranu
GICR = (1<<INT0);            //povoleni preruseni INT0
//provozni casovac
TCCR1B =(1<<CS11);           //TC1Normal, ClockSel8,
TIMSK = (1<<TOIE1);          //jakakoliv zmena hrany
TCCR0 = (0<< WGM01)|(1<<WGM00)|(1<<COM01)|(0<<COM00)|(0<<CS02)
|(1<<CS01)|(0<<CS00); //PWM, Clr, /deleni osc. 8.
}

```

4 Funkce USART_Init

```

void USART_Init( unsigned int ubrr)
{
    UBRRH = (unsigned char)(ubrr>>8);          //nastav rychlost
    UBRL = (unsigned char)ubrr;
    UCSRB = (1<<RXEN)|(1<<TXEN)|(1<<RXCIE); //povoleni txd i rxd,
rx int
    UCSRC = (1<<URSEL)|(0<<UMSEL)|(1<<UPM1)|(0<<UPM0)|(0<<USBS)
|(0<<UCSZ2)|(1<<UCSZ1)|(1<<UCSZ0); //UART asyn, 9600, 8, E, 1
}

```

5 Funkce USART_Transmit

```

void USART_Transmit( unsigned char data )//funkce pro vyslani
znaku
{
    while ( !( UCSRA & (1<<UDRE)) )          //ceka na vyprazdneni
bufferu
        ;
    UDR = data;                               //vyslani znaku
}

```

6 Funkce usart_puts

```

void usart_puts (char *s)    //funkce pro vyslani retezce
{
    while (*s)                //dokud neni konec retezce
    {
        USART_Transmit(*s);   //vysilej
        s++;
    }
}

```

7 Funkce EEPROM_write, EEPROM_read

```

void EEPROM_write(unsigned int uiAddress, unsigned char ucData)
{
    while(EECR & (1<<EWE)) //ceka na dokoncení předch. zápisu
        ;
    EEAR = uiAddress;       //nastavení registru
    EEDR = ucData;
    EECR |= (1<<EEMWE);
    EECR |= (1<<EWE);       //záčne zápis
}

```

```

unsigned char EEPROM_read(unsigned int uiAddress)
{
    while(EECR & (1<<EWE))    //ceka na dokonceni predch. zapisu
        ;
    EEAR = uiAddress;          //nastaveni registru
    EECR |= (1<<EERE);         //zacne cteni
    return EEDR;               //vrati data
}

```

8 Funkce Set_Freq

```

void Set_Freq ( void )          //funkce pro zobrazeni frek a volbu
RtADJ.
{
    lcd_gotoxy( 9,1 ) ;
    lcd_puts( dispfreq[freq] ) ;    //pise na displej
    switch (freq){
        case 0:
            PORTA = (1<<7);          //pise na port - prepina rezistory
            break;
        case 1||2||3:
            PORTA = (1<<6);
            break;
        case 4:
            PORTA = (1<<5);
            break;
        case 5:
            PORTA = 0;
            break;
    }
}

```

9 Funkce WriteK, ReadK

```

void WriteK(float num1)          //ConvF2C
{
    unsigned char *ch_arr1;

    ch_arr1 = (unsigned char *)&num1;

    EEPROM_write(8*freq+0, ch_arr1[0]);
    EEPROM_write(8*freq+1, ch_arr1[1]);
    EEPROM_write(8*freq+2, ch_arr1[2]);
    EEPROM_write(8*freq+3, ch_arr1[3]);
}

float ReadK(void)                //ConvC2F
{
    unsigned char ch_arr2[4];

    ch_arr2[0] = EEPROM_read(8*freq+0);
    ch_arr2[1] = EEPROM_read(8*freq+1);
    ch_arr2[2] = EEPROM_read(8*freq+2);
    ch_arr2[3] = EEPROM_read(8*freq+3);
}

```

```

    return *((float *) (ch_arr2));

}

```

10 Funkce WriteC, ReadC

```

void WriteC(float num1)      //ConvF2C
{
    unsigned char *ch_arr1;

    ch_arr1 = (unsigned char *)(&num1);

    EEPROM_write(8*freq+4, ch_arr1[0]);
    EEPROM_write(8*freq+5, ch_arr1[1]);
    EEPROM_write(8*freq+6, ch_arr1[2]);
    EEPROM_write(8*freq+7, ch_arr1[3]);

}

float ReadC(void)           //ConvC2F
{
    unsigned char ch_arr2[4];

    ch_arr2[0] = EEPROM_read(8*freq+4);
    ch_arr2[1] = EEPROM_read(8*freq+5);
    ch_arr2[2] = EEPROM_read(8*freq+6);
    ch_arr2[3] = EEPROM_read(8*freq+7);

    return *((float *) (ch_arr2));

}

```

11 Funkce Disp_Value

```

void Disp_Value(void)
{
    char *tmpptr;                //pomocne k zobrazeni
    char buffer[10];             //pomocne k zobrazeni
    int i;
    int length = 0;

    tmpptr = dtostrf( power,6,1,buffer);

    for (i = 0; i <10; i++)
    {
        value[i] = tmpptr[i];
        if (tmpptr[i]==0) break;
    }

    tmpptr = dtostrf( power_W,6,1,buffer);

    for (i = 0; i <10; i++)
    {
        value_W[i] = tmpptr[i];
        if (tmpptr[i]==0) break;
    }
}

```

```

        if (dBm)                                //pokud se ma zobrazit
dBm      {
        while(value[length++] != '\0');//strlen
        length--;
        lcd_gotoxy( 0,0 ) ;
        lcd_puts("    " ) ;
        lcd_gotoxy( 6 - length,0 ) ;//na zacatek displeje
        lcd_puts( value ) ;                      //dBm
        lcd_puts( " dBm" ) ;
        }
        else                                    //pokud se ma zobrazit W
        {
        while(value_W[length++] != '\0');//strlen
        length--;
        lcd_gotoxy( 0,0 ) ;
        lcd_puts("") ;
        lcd_gotoxy( 6 - length,0 ) ;//na zacatek displeje
        lcd_puts( value_W ) ;                    //mW
        if (power>= 0)lcd_puts( " mW " );
        else if (power>= -30)lcd_puts( " uW " );
        else lcd_puts( " nW " );
        }

        if (ADCRES<160) lcd_puts( " *" );        //nizka presnost, prah
citlivosti
        else if (ADCRES>950) lcd_puts( " OVER" );//horni prah,
pretizeni
        else lcd_puts( "      " );

    }

```

12 Funkce Disp_Analog

```

void Disp_Analog(void)                        //analogovy vystup PWM
{
    double int_part, decimal_part ;
    double tmp, pomocna;
    static double zmena;

    if (an_power == 0) //pokud je hodnota nulova, je rucka na nule
        OCR0 = 0;
    else
    {
        if (an_rng == 0) //3dB
        {
            decimal_part = an_power / 10;//jednotky dostaneme na desetiny
            modf(decimal_part,&int_part);//ziskame celou cast
            pomocna = decimal_part - int_part;//ziskame desetinnou cast
            tmp = pomocna*100;//ziskame cele cislo 0 - 31000
            tmp = abs(tmp);//likvidujeme znamenko
            if(an_power < 0 )//pro zaporne hodnoty pocitame doplněk do
100      {
            tmp = 30 - tmp;
            }
        }
    }

```

```

OCR0 = (255/30) * tmp;//prizpusobuje rozsahu registru
}
else if (an_rng == 1)//10dB
{
decimal_part = an_power / 10;//jednotky dostaneme na desetiny
modf(decimal_part,&int_part);//ziskame celou cast
pomocna = decimal_part - int_part;//ziskame desetinnou cast
tmp = pomocna*100;//ziskame cele cislo 0 - 100
tmp = abs(tmp);//likvidujeme znamenko
if(an_power < 0 )//pro zaporne hodnoty pocitame doplněk do
100 {
tmp = 100 - tmp;
}
OCR0 = 2.55 * tmp;//prizpusobuje rozsahu registru
}
else //plny rozsah
{
tmp = ADCRES/10;
OCR0 = 2.55 * tmp;
}
//OCR0 = 0;
}
}

```

13 Funkce Measure

```

void Measure (void)
{
sprintf(adc_result,"%d",ADCRES);      //retezec hodnoty A/D
prevodu

power = k * (double)ADCRES + c + offset; //vypocet vykonu
an_power = power + an_ofs;
if (power>= 0)
power_W = pow(10, power/10); //mW
else if (power>= -30)
power_W = pow(10, power/10+3);      //uW
else
power_W = pow(10, power/10+6);      //nW
status = 0;

}

```

14 Funkce Comm

```

void Comm ()
{
char LF = 0x0a;          //znak LF
char character = fifo[head];
static float fnumber = 0; //inicializace promennych
static int i = 0;
static int decimal = 0;
static int decimal_pos = 0;
static int minus = 0;
static int target_flag = SET_NOTHING;
float tmp;

```



```

head = (head + 1) % FIFO_LENGTH;

switch (character){
    case 'd':                //measure - cti hodnotu vykonu v dBm
        usart_puts(value); //vyslani dat
        usart_puts(" dBm"); //vyslani dat
        USART_Transmit(LF); //odradkuje
        break;
    case 'm':                //measure - cti hodnotu vykonu ve W
        usart_puts(value_W); //vyslani dat
        if (power >= 0) usart_puts( " mW " );
        else if (power >= -30) usart_puts( " uW " );
        else usart_puts( " nW " );
        USART_Transmit(LF); //odradkuje
        break;
    case 'n':                //number - cti hodnotu A/D prevodu
        usart_puts(adc_result); //vyslani dat
        USART_Transmit(LF); //odradkuje
        break;
    case 'g':                //get frequency - nacti frekvenci
        usart_puts(dispfreq[freq]); //vyslani dat
        USART_Transmit(LF); //odradkuje
        break;
    case '.':                //zadani tecky, napr v desetinnem
cislou
        decimal = 1;
        break;
    case 'k':                //zapisu k nebo c
    case 'c':
        if (minus)           //znamenko zapisovane konstanty
            fnumber *= -1;
        if (character == 'k') //zapis prislusne konstanty dopameti
            WriteK(fnumber);
        else if (character == 'c')
            WriteC(fnumber);

        fnumber = 0;
        decimal_pos = 0;
        decimal = 0;
        minus = 0;
        i=0;
        target_flag = SET_NOTHING;
        break;
    case '-':                //zadane minus
        if (fnumber == 0)
            minus = 1;
    case 'w':                //write const. - zapis
konstanty
        target_flag = SET_CONSTANT;
        break;
    case 'f':                //set frequency - zmena
frekvence
        target_flag = SET_FREQ;
        break;
    default:

```

```

if (isdigit(character))//kontrola na cisla
{
    if (target_flag == SET_CONSTANT)
    {
        if (decimal)          //pripad desetinneho cisla
        {
            tmp = character - '0';
            for (i = decimal_pos; i >= 0; i--)
            {
                tmp /= 10;
            }
            fnumber += tmp;
            decimal_pos++;
        }
        else                    //zapis dalsiho radu
            fnumber = fnumber * 10 + character - '0';
    }
    else if (target_flag == SET_FREQ)
    {
        freq = character - '0';//nastaveni frekvence
        Set_Freq();           //aktualizace nastaveni
        k = ReadK();
        c = ReadC();
        target_flag = SET_NOTHING;
    }
}

break;
}
}

```

15 Funkce Disp_Par

```

void Disp_Par(void)
{
    lcd_gotoxy( 6,1 ) ;
    lcd_puts("          ") ;
    lcd_gotoxy( 0,1 ) ;
    lcd_puts( disppar[par] );           //pise na displej
    char temp [8];
    unsigned int length= 0;
    switch (par){
        case 0:
            Set_Freq();
            break;
        case 1:
            sprintf(temp,"%d dB",(int)offset);
            while(temp[length++] != '\0');//strlen
            length--;
            lcd_gotoxy( 16 - length,1 ) ;
            lcd_puts(temp) ;             //pise na displej
            break;
        case 2:
            sprintf(temp,"%d dB",(int)an_ofs);
            while(temp[length++] != '\0');
            length--;
    }
}

```

```

    lcd_gotoxy( 16 - length, 1 ) ;
    lcd_puts(temp) ;                //pise na displej
    break;
    case 3:
    lcd_gotoxy( 10, 1 ) ;
    lcd_puts(disg_rng[an_rng]) ;    //pise na displej
    break;
}
}

```

16 Funkce execute_btn1

```

void execute_btn1(void) {
    switch(par)
    {
    case 0://FREQ
        freq = (freq + 1) % 7; //rotuje udaj nahoru
        k = ReadK();           //aktualizace prevodnich konstant
        c = ReadC();
        break;
    case 1://OFFSET
        if (offset < 100)      //omezeni hodnoty offset
            offset = offset + 10;
        break;
    case 2://AN_OFS
        if (an_ofs < 100)      //omezeni hodnoty an_ofs
            an_ofs = an_ofs + 1;
        break;
    case 3://AN_RNG
        if (an_rng < 2)
            an_rng = an_rng + 1;
        break;
    }

    Disp_Par();               //vola funkci pro zobrazeni
}

```

17 Funkce execute_btn2

```

void execute_btn2(void) {
    switch(par)
    {
    case 0://FREQ
        freq = (freq + 6) % 7; //rotuje udaj dolu
        k = ReadK();           //aktualizace prevodnich konstant
        c = ReadC();
        break;
    case 1://OFFSET
        if (offset > -100)     //omezeni hodnoty offset
            offset = offset - 10;
        break;
    case 2://AN_OFS
        if (an_ofs > -100)     //omezeni hodnoty an_ofs
            an_ofs = an_ofs - 1;
        break;
    case 3://AN_RNG
        if (an_rng > 0)

```

```

        an_rng = an_rng - 1;
    break;
}

    Disp_Par();                //vola funkci pro zobrazeni
}

```

18 Hlavní funkce main

```

int main (void)
{
    HW_Init ();                //inicializace portu a periferii
    USART_Init(MYUBRR);       //inicializace USART
    lcd_init();                //inicializace displeje
    lcd_clrscr();              //smazani displeje

    head = 0;                  //inicializace fronty
    tail = 0;
    dBm = 1;                   //inicializace zobrazeni jednotek
    k = ReadK();               //inicializace prevodnich konstant
    c = ReadC();

    sei() ;                    //globalni povoleni preruseni

    Disp_Par();                //vypsani vychoziho nastaveni na
displej

    while( 1 )                 //hlavni programova smycka
    {
        if (status)
        {
            Measure();          //mereni a vypocet hodnot
            Disp_Value();        //zobrazeni hodnot
            Disp_Analog();
        }

        if (head != tail)      //pokud je neco ve fronte
            Comm();             //zpracuj pozadavek, komunikuj
    }
}

```

19 Obsluha přerušení ISR(USART_RXC_Vect)

```

ISR(USART_RXC_vect)           //preruseni na prijem dat
{
    fifo[tail] = UDR;          //prijeti dat do fronty
    tail = (tail + 1) % FIFO_LENGTH;
}

ISR( TIMER1_OVF_vect )        //preruseni od casovace 1
{
    int temp = 0, i;
    for (i = 0; i < 8; i++)    //cislicova filtrace
        temp += ADCL+(ADCH<<8); //prumer z osmi vzorku
    ADCRES = temp>>3;          //ulozeni prumerovane hodnoty z A/D
prevedniku
    status = 1;                //provede se Measure()
}

```

```
}
```

20 Obsluha přerušení ISR(INT0_Vect)

```
ISR( INT0_vect )           //preruseni od tlacitek
{
    int portinput = (PIND & 0x3c); //maskuji port a ctu stav

    switch(portinput){
        case 56:             //tlacitko down
            execute_btn1();   //vola zpracovani akce od tlacitka
down
            break;
        case 48:             //tlacitko up
            execute_btn2();   //vola zpracovani akce od tlacitka
up
            break;
        case 40:             //tlacitko set
            par = (par + 1) % 4; //rotuje parametr
            Disp_Par();         //zobrazuje aktualni stav na
displeji
            break;
        case 24:             //tlacitko dBm/W
            dBm = !dBm;        //volba jednotek
            break;
    }
}
```

Příloha 2. Motivy pro potisk štítků krabičky

